



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Ensaios geomecânicos em rochas metassedimentares
do maciço da Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães):
comparação, potencialidades e limitações**

Tânia Marisa Maia Azevedo Ramos



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Ensaio geomecânico em rochas metassedimentares
do maciço da Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães):
comparação, potencialidades e limitações**

Tânia Marisa Maia Azevedo Ramos

Nº 1010041

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e da Eng^a Maria Eugénia Lopes, Equiparada a Assistente do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Maria Eugénia Oliveira Lopes
Equiparada a Assistente, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Maria José Coxito Afonso
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Luís Carlos Gama Pereira
Professor Catedrático, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Agradecimentos

Ao Prof. Doutor Helder I. Chaminé (DEG-ISEP) o meu sincero agradecimento pela paciência, apoio, 33experiência e dedicação como me orientou o trabalho, no campo e gabinete e, bem assim, pela palavra amiga para não deixar de acreditar. Grata pela imensa documentação bibliográfica partilhada para desenvolver serenamente a presente investigação e, por fim, pelas interessantes discussões tidas ao longo da dissertação sobre geomecânica de maciços rochosos fracturados.

À Eng.^a Maria Eugénia Lopes (DEG-ISEP), pela partilha da sua experiência sobre os ensaios geomecânicos, bem como pelos ensinamentos transmitidos durante a realização deste trabalho. Expresso o meu sincero reconhecimento pela forma prestável como sempre me orientou, quer no campo quer no gabinete. Por fim, grata pela partilha de resultados inéditos sobre o maciço rochoso da Mina das Aveleiras que faz parte da sua investigação de doutoramento.

À Direcção do Mosteiro de Tibães (Direcção Regional de Cultura do Norte), na pessoa da Arquitecta Maria João Dias Costa, pela possibilidade que nos proporcionou na realização do trabalho de campo na antiga Mina das Aveleiras e todas as facilidades operacionais para a amostragem dos materiais pétreos. Grata, igualmente, ao Sr. Paulo pelo apoio na fase da colheita da amostragem.

À Dr.^a Maria José Afonso (DEG-ISEP), pela sua ajuda no campo numa fase preliminar do trabalho subterrâneo das Minas das Aveleiras. Ao Prof. Doutor João Paulo Meixedo (ISEP) pelas fotos cedidas da antiga galeria mineira. À Dra. Patrícia Costa, Museóloga do Museu do ISEP, pela cedência de fotos de modelos mineiros do Séc. XIX. À colega de curso Eng.^a Patrícia Moreira pelo espírito de entre-ajuda em algumas fases do presente trabalho.

Um agradecimento especial aos directores dos Laboratórios do ISEP, Prof. Doutor H. I. Chaminé do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) e do Prof. Doutor J. A. Fernandes do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMCM), por todas as facilidades na utilização dos recursos dos laboratórios do ISEP. Um agradecimento especial ao Sr. Carlos Ferreira pelos esclarecimentos e apoio na execução de alguns ensaios laboratoriais.

Este trabalho recebeu apoio parcial do projecto HIDROURBAN – LABCARGA (IPP|PADInv/2007-08).

Ao meu melhor *Amigo* que tanto me apoiou e acreditou na realização deste trabalho. O meu *Muito obrigado!*

Palavras – chave

Ensaio geomecânicos laboratoriais e *in situ*, Mecânica das rochas, Maciços rochosos, Mina das Aveleiras (Tibães).

Resumo

O ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial (RCU) é, sem dúvida, das propriedades geotécnicas a mais frequentemente citada em engenharia dos maciços rochosos. É amplamente entendida como uma estimativa do índice que fornece uma primeira aproximação aos diversos problemas que são susceptíveis de serem encontrados numa grande variedade de problemas de engenharia geotécnica. O ensaio de Carga Pontual (*Point Load Test*, PLT) é um procedimento aceite em mecânica das rochas e utilizado para o cálculo do índice de resistência à carga pontual que, por sua vez, através de correlações, permite estimar a Resistência à Compressão Uniaxial. O equipamento de PLT, quer de campo quer de laboratório, e respectivo processo, é económico e permite testar amostras de rocha provenientes directamente de maciços. Foi, ainda, executado numa série de material-rocha o ensaio flexão sob carga centrada.

A Mina das Aveleiras é uma antiga mina de volfrâmio (c. 1940-1963), pertencente ao Mosteiro de S. Martinho de Tibães, perto de Braga, no Norte de Portugal. Este estudo visou a avaliação geral das propriedades geomecânicas e geotécnicas do maciço rochoso subterrâneo da Mina das Aveleiras. O presente estudo envolveu uma extensa amostragem e avaliação geomecânica, *in situ* e laboratório, em material rochoso metassedimentar do maciço da antiga Mina das Aveleiras. Foram realizados no material rochoso das Aveleiras, em função das unidades geotécnicas definidas pelo zonamento, mais de 100 ensaios de carga pontual, 240 ressaltos-*R* medidos com o martelo clássico de Schmidt, 1800 ressaltos-*Q* com o novo modelo do martelo SilverSchmidt e 120 ensaios da resistência à flexão sob carga centrada nas zonas geotécnicas definidas neste estudo.

Keywords

In situ and laboratory geomechanics testing, Rock mechanics, Rock masses, Aveleiras Mine (Tibães).

Abstract

The Uniaxial Compressive Strength Test (UCS) is undoubtedly the geotechnical property that is most often quoted in rock engineering practice. It is widely understood as a rough index which gives a first approximation of the range of issues that are likely to be encountered in a variety of geotechnical engineering problems. The Point Load Test (PLT) is an accepted rock mechanics testing procedure used for the calculation of a rock strength index. The PLT apparatus and procedure enables economical testing of lump rock samples in either a field or laboratory setting. In order to estimate UCS, index-to-strength conversion factors are used. The flexural strength under concentrated load testing was also performed in several rock samples.

The Aveleiras Mine is an old wolfram mine (c. 1940-1963), belonging to the Monastery of St. Martin of Tibães, near Braga, in the North of Portugal. This study aimed generally the assessment of geomechanical features of jointed metasedimentary Aveleiras underground rock mass. This study involved an extensive field sampling as well as *in situ* and laboratory geomechanical testing assessment of Aveleiras Mine metasedimentary rock mass. More than 100 individual Point Load Test, 240 rebound classical *Schmidt* Hammer results and 1800 *Q*-rebounds with the newly *SilverSchmidt* Hammer as well as 120 flexural strength under concentrated load testing, were performed in Aveleiras rock material from the different geotechnical units zoning.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	3
1.1. Enquadramento do tema	3
1.2. Objectivos	3
2. MACIÇOS ROCHOSOS: GEOLOGIA APLICADA E GEOMECÂNICA	7
2.1. Considerações iniciais	7
2.2. Fases do estudo geológico-geotécnico	9
2.3. Maciços rochosos: caracterização geológico-geotécnica	12
2.3.1. Reconhecimento geológico	12
2.3.2. Cartografia das superfícies expostas do maciço.....	13
2.3.3. Técnica de amostragem linear aplicada ao estudo de superfícies de descontinuidades .	15
2.3.4. Parâmetros geológicos – geotécnicos dos maciços	19
2.3.5. Descontinuidades	21
2.3.6. Atitude geológica (direcção/inclinação).....	25
2.3.7. Espaçamento	27
2.3.8. Rugosidade.....	31
2.3.9. Resistência da parede das descontinuidades.....	33
2.3.10. Abertura.....	34
2.3.11. Enchimento	36
2.3.12. Estado de alteração	36
2.3.13. Percolação.....	38
2.4. Zonamento geotécnico.....	38
2.5. O Índice Geológico de Resistência (Geological Strength Index, GSI)	38
3. ENSAIOS GEOMECÂNICOS: METODOLOGIAS E TÉCNICAS.....	45
3.1. Generalidades.....	45
3.2. Técnicas “in situ”	46
3.2.1. Esclerómetro portátil ou <i>martelo Schmidt</i>	46
3.3 O novo esclerómetro portátil <i>SilverSchmidt</i> , tipo L: o valor de ressalto <i>Q</i>	53
3.3.2 Descrição do equipamento <i>SilverSchmidt</i>	54
3.4 Técnicas laboratoriais	60
3.5 Determinação da resistência à flexão sob carga centrada.....	69
4. BREVE INTRODUÇÃO À MINERAÇÃO.....	79
4.1 Generalidades.....	79

4.2	Tipo de exploração mineira: uma breve síntese	82
4.2.1	Plano de lavra e métodos de exploração	87
4.2.2	Modelos de Minas do Século XIX	89
4.3	Metodologias de recuperação.....	90
5.	Avaliação geomecânica em materiais pétreos metassedimentares da galeria mineira das Aveleiras (Tibães)	97
5.1	Generalidades	97
5.2	Enquadramento regional	98
5.3	Zonamento geológico-geotécnico do maciço da mina das Aveleiras	101
5.3.1	Apontamento histórico.....	101
5.3.2	Breve descrição da Mina das Aveleiras.....	102
5.3.3	Geologia subterrânea	105
5.4	Constrangimentos geotécnicos da Mina das Aveleiras	107
5.5.	Avaliação geomecânica dos materiais pétreos <i>in situ</i> e laboratório	118
5.5.1.	Considerações iniciais.....	118
5.5.2.	Apresentação dos resultados	137
5.5.3.	Discussão dos resultados	144
5.6.	Breve estimativa de custos associado ao estudo.....	150
6.	CONCLUSÕES.....	155
7.	Referências Bibliográficas	159
ANEXOS	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Um esquema parav a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (adaptado de Mazzoccola e tal., 1997)	9
Figura 2 – Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004) D – distância à origem da fita, L – semi comprimento exposto.....	16
Figura 3 – Representação do número de famílias mediante bloco-diagramas (adaptado de González de Vallejo e tal., 2002)	21
Figura 4 – Equipamento de campo básico para o levantamento pela técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	24
Figura 5 – Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	25
Figura 6 – Avaliação da atitude geológica de uma descontinuidade (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	26
Figura 7 - Representação esquemática de dados estruturais num diagrama de rosetas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	27
Figura 8 – Representação das famílias principais em bloco diagrama (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	27
Figura 9 - Medição do espaçamento entre descontinuidades a partir de uma face exposta do maciço (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	28
Figura 10 – Exemplos de descontinuidade com espaçamentos diferentes (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	29
Figura 11 – Representações simples de blocos diagramas esquemáticos indicativos da continuidade de varias famílias de fracturas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).....	30
Figura 12 - Escalas de rugosidade, avaliadas segundo diferentes ensaios de corte. A ondulação pode ser caracterizada pelo ângulo (i) (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).....	31
Figura 13 - Perfis de rugosidade, o comprimento dos perfis está entre 1 e 10 metros (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	32
Figura 14 – Diagarmas que ilustram as definições de abertura de descontinuidade (ISRM, 1978)	34

Figura 15 - Diferentes tipos de abertura: a) descontinuidade com grande abertura sem enchimento; b) descontinuidade “plana a rugosa”, com abertura e enchimento argiloso; c) descontinuidade “ondulada-rugosa” com abertura muito grande e enchimento argiloso (adaptado de González de Vallejo et al., 2000.	35
Figura 16 - Determinação do valor do GSI segundo Hoek (2007), adaptado por Miranda (2003).	41
Figura 17 - Relações entre as tensões principais máximas e mínimas para os critérios de Hoek-Brown e equivalente de Mohr-Coulomb (Hoek et al., 2002).	42
Figura 18 - Exemplo do modelo do martelo patenteado pelo Eng. Ernst Schmidt. O fabricante suíço PROCEQ é a única empresa que tem o exclusivo no fabrico do <i>martelo de Schmidt</i> (www.proceq.com).	46
Figura 19 - O <i>Martelo Schmidt</i> ou Esclerómetro Portátil (www.proceq.com): suas partes principais.	47
Figura 20 - Exemplo de aplicação do <i>martelo de Schmidt</i> , numa descontinuidade do maciço rochoso.	48
Figura 21 - Exemplificação da anatomia do martelo de Schmidt e as várias fases de preparação do martelo para a realização do ensaio.	49
Figura 22 - Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do <i>martelo Schmidt</i> (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	50
Figura 23 - Martelo <i>SilverSchmidt</i> , tipo L, da Proceq (equipamento do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, LABCARGA, do ISEP)	53
Figura 24 - Interface digital gráfica do Martelo <i>SilverSchmidt</i> (adaptado segundo a Proceq, 2007).	54
Figura 25 - Principais componentes do martelo de <i>SilverSchmidt</i> (adaptado segundo a Proceq, 2007).	56
Figura 26 – Floxograma do modo operacional, (segundo a Proceq, 2007)	57
Figura 27 –Floxograma da estrutura do menu, (segundo a Proceq, 2007).	58
Figura 28 - Modelos L/LR (Proceq B): curvas de conversão em função da resistência à compressão média e do valor de ressalto <i>Q</i> (adaptado segundo a Proceq, 2007).	59
Figura 29 – Modelos L/LR: curvas de conversão em função do valor de ressalto- <i>R</i> e do valor de ressalto- <i>Q</i> (adaptado segundo a Proceq, 2007).	60
Figura 30 - Representação esquemática do equipamento para a execução do Ensaio de Carga Pontual – PLT (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	61

Figura 31 - Equipamento para a execução do Ensaio de Carga Pontual, PLT (as fotos referem-se ao equipamento do PLT do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção, LGMC, do ISEP).....	62
Figura 32 – Ensaio diametral, $L > 0,5 D$ e ensaios considerados válidos (adaptado da ISRM, 1985).	64
Figura 33 – Ensaio axial considerados válido (adaptado da ISRM, 1985).....	64
Figura 34 - Relação de dimensões dos provetes (rocha irregular) a satisfazer nos ensaios de carga pontual e ensaios considerados válidos ((ISRM, 1985, 2007):adaptado da ISRM, 1985, 2007). ...	65
Figura 35 - Roturas típicas para ensaios válidos e inválidos (ISRM, 1985, 2007). (a) Ensaio segundo o diâmetro, válido; (b) Ensaio segundo o eixo, válido; (c) Ensaio de blocos, válidos; (d) Ensaio inválido; (e) Ensaio axial inválido.	66
Figura 36 – Gráfico para cálculo de $I_{s(50)}$, segundo a ISRM (1985).	67
Figura 37 - Gráfico para a correlação entre a resistência à carga pontual e a resistência à compressão, segundo a ISRM (1985).	68
Figura 38 - Equipamento para a execução do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada. Notar o pormenor do provete sob os cutelos de apoio (a foto refere-se ao equipamento do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção, LGMC, do ISEP).	69
Figura 39 - (a) Força perpendicular ao plano principal de anisotropia; (b) Força paralela ao plano principal de anisotropia; (c) Força perpendicular ao topo do plano principal de anisotropia (imagens retiradas da norma EN 12372; versão de Dezembro 2006)	73
Figura 40 - Esquema do dispositivo de ensaio para flexão sob carga centrada (imagem retirada da procedimento do Laboratório de Rochas do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do ISEP; adaptada à EN 12372, versão Dezembro 2006).	75
Figura 41 - Estampa ilustrada do livro Mod. Minas Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).....	80
Figura 42 - Estampa ilustrada do livro Mod. Minas Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).....	81
Figura 43 - Estampa ilustrada do livro Mod. Minas Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Simonim, L. 1877), segundo FFV-MML (2006).....	82
Figura 44 - Estampa ilustrada do livro Mod. Minas Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).....	83
Figura 45 - Estampa ilustrada do livro Mod. Minas Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).....	84

Figura 46 - Estampa ilustrada do livro <i>Mod. Minas Séc. XIX</i> , Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).	86
Figura 47 - Estampa ilustrada do livro <i>Mod. Minas Séc. XIX</i> , Fundação Frédéric Velge (Hacquet, balthasar. 1781), segundo FFV-MML (2006).....	89
Figura 48 – Exemplos de maquetes, à escala, de sustimento em madeira de galerias de antigas minas (cortesia: D ^{ra} . Patrícia Costa Museu do ISEP,).	90
Figura 49 - Esboço geológico regional de Braga (adaptado e simplificado de Ferreira et al., 2000).	99
Figura 50 – Esboço geológico da região de Mire de Tibães (adaptado e reinterpretado de Ferreira et al., 2000).	101
Figura 51 - Traçado subterrâneo da Mina das Aveleiras (ou de Tibães) – adaptado de LABCARGA (2007/08) e Lopes et al. (2008).	104
Figura 52 - Estrutura filoniana quartzosa, Mina das Aveleiras.....	106
Figura 53 - Esquema do zonamento geotécnico de uma parte da galeria principal (extensão <i>ca.</i> 80 metros), Mina das Aveleiras (adaptado de Lopes, <i>in prep.</i>).....	107
Figura 54 - Representação do maciço da zona geotécnica (ZGI) da antiga galeria Mineira de Tibães.	108
Figura 55 - Representação do maciço da zona geotécnica (ZGII) da antiga galeria Mineira de Tibães.	109
Figura 56 - Representação do maciço da zona geotécnica (ZGIII) da antiga galeria Mineira de Tibães.	110
Figura 57 - Representação do maciço da zona geotécnica (ZGIV) da Antiga Galeria Mineira de Tibães.	111
Figura 58 - Exemplo de estruturas filoninas de quartzo, (ZGIV), da antiga galeria mineira de Tibães	111
Figura 59 - Zonamento geotécnico da galeria principal (extensão <i>ca.</i> 80 metros) do maciço das Aveleiras (adaptado de LABCARGA, 2007/2008; Neto, 2007)	115
Figura 60 - Reconhecimento e contacto com a área em estudo, Mina das Aveleiras ou de Tibães.	120
Figura 61 - Inspeção visual, reconhecimento do estado estrutural e da geologia da antiga Mina das Aveleiras.	121
Figura 62 - Exemplificação da realização do ensaio com o <i>Martelo de Schmidt</i> Clássico, bem como outros aspectos do trabalho geológico de terreno.	122
Figura 63 - Exemplificação da realização do ensaio com martelo <i>SilverSchmidt</i>	123

Figura 64 - Exemplificação da realização do ensaio com martelo <i>SilverSchmidt</i>	123
Figura 65 - Exemplificação da fase de recolha de amostras nas diferentes zonas geotécnicas, da Mina das Aveleiras, Tibães.	124
Figura 66 - Exemplificação da preparação laboratorial das amostras na máquina de corte, no LGMC-ISEP.	125
Figura 67 - Provete de material metassedimentar com filonetes de quartzo e filão de quartzo leitoso.	126
Figura 68 - Apresentação dos provetes por zonamento geotécnico para a elaboração do Ensaio Carga Pontual (<i>Point Load Test, PLT</i>),	127
Figura 69 - Determinação das dimensões do provete com ajuda do paquímetro digital.	128
Figura 70 - Colocação do provete na Máquina de Ensaio de Carga Pontual (PLT), no Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP.	129
Figura 71 – Rotura do provete.	129
Figura 72 - Exemplos de provetes rejeitados.	130
Figura 73 - Armazenamento dos provetes ensaiados.	130
Figura 74 - Nova campanha de colheita de amostras.	131
Figura 75 - Preparação laboratorial dos provetes para o ensaio de flexão.	132
Figura 76 - Colocação dos provetes pela respectiva zona geotécnica.	133
Figura 77 - Exemplificação da determinação das dimensões dos provetes com o paquímetro.	134
Figura 78 - Exemplificação da colocação dos provetes na máquina de ensaio de flexão devidamente centrados (Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP).	134
Figura 79 - Exemplo de provete em carga no ensaio de flexão.	135
Figura 80 - Continuação do ensaio, colocação dos provetes em carga.	136
Figura 81 - Exemplos de provetes em que a rotura não ocorre pelo centro da superfície.	136
Figura 82 - Exemplo do cálculo da resistência a partir do martelo Schmidt, segundo o Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	137
Figura 83 - Representação gráfica da correlação da resistência à compressão simples e a dureza da rocha (adaptado de ISRM, 1985)	141

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos geológicos e geotécnicos para o projecto de túneis (compilado de Jimeno, 2003).	11
Quadro 2 – Ficha tipo de levantamento geológico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.	18
Quadro 3 – Classificação de maciços rochosos pelo número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).....	20
Quadro 4 – Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (ISRM, 1981).	23
Quadro 5 – Apresenta uma classificação do maciço rochoso em função da forma e tamanho de bloco e da intensidade de fracturação.....	23
Quadro 6 – Terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades segundo a ISRM (1978, 1981).	29
Quadro 7 – Descrição da continuidade das descontinuidades (ISRM, 1981).	30
Quadro 8 – Classificação da rugosidade das descontinuidades (adaptado da ISRM 1981).....	32
Quadro 9 – Terminologia para caracterização do estado de resistência (ISRM, 1978).....	33
Quadro 10 – Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981).	35
Quadro 11 – Evolução do grau de alteração do maciço rochoso (adaptado da ISRM, 1981).	37
Quadro 12 – Estimativa dos valores de m_i (Hoek, 2007).....	40
Quadro 13 – Exemplo da ficha de registo das medições com o Esclerómetro portátil (<i>Martelo de Schmidt e Martelo SilverSchmidt, Tipo L</i>).	51
Quadro 14 – Classificação do maciço com base na resistência à compressão simples (ISRM, 1978, 1981).	52
Quadro 15 – Função do grau de qualidade da rocha (R0 a R6) correlacionada com a resistência à compressão simples e o índice de carga pontual $IS_{(50)}$	52
Quadro 16 – Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (inspirada na proposta da ISRM, 1985, 2007).....	63
Quadro 17 – Ficha de registo dos valores do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada (adaptada da norma EN 12372).....	71
Quadro 18 – Uma proposta de classificação, no sentido crescente da qualidade da rocha, dos resultados de ensaios físico-químicos de material rochoso especialmente utilizada em pedra natural (segundo Pinto et al., 2006).	76

Quadro 19 – Ficha de identificação dos litótipos metassedimentares da antiga galeria Mineira das Aveleiras.	112
Quadro 20 – Resumo dos parâmetros geomecânicos estimados (LABCARGA, 2007/2008).....	113
Quadro 21 – Síntese das características geotécnicas da Mina das Aveleiras (adaptado de LABCARGA, 2007/08; Neto, 2007).	117
Quadro 22 – Síntese do coeficiente de ressalto R dos ensaios “in situ” (Mina de Tibães).	138
Quadro 23 – Síntese do coeficiente de ressalto Q dos ensaios “in situ” (Mina de Tibães).....	139
Quadro 24 – Síntese do coeficiente de ressalto R, ensaiado em laboratório no material-rocha.	139
Quadro 25 – Síntese do coeficiente de ressalto Q, ensaiado em laboratório no material-rocha.	140
Quadro 26 – Síntese do índice de resistência à carga pontual.	142
Quadro 27 – Síntese da resistência à flexão sob carga centrada.....	143
Quadro 28 – Síntese das classificações obtidas nos diferentes ensaios geomecânicos realizados, (ei – ensaio indeterminado).	148
Quadro 29 – Síntese dos resultados estatísticos básicos do ensaio de resistência à flexão sob carga concentrada.	148
Quadro 30 – Estimativa de custos (s/ IVA, €) do trabalho em fase das diferentes fases de execução do estudo.	151

ÍNDICE DE FORMULAS

Fórmula - [1] Índice do tamanho do bloco, Ib ("Block Size Index")	22
Fórmula - [2] Numero total de descontinuidades que intersectam uma unidade de volume (1m ³)	22
Fórmula - [3] Numero total de descontinuidades para um maciço com 3 famílias de descontinuidades	22
Fórmula - [4] Número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento L.....	22
Fórmula - [5] Número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento L.....	22
Fórmula - [6] Grau de fracturação	24
Fórmula - [7] Valor teórico mínimo do RQD.....	24
Fórmula - [8] Índice geológico de resistência (Geological Streng th Index, GSI)	39
Fórmula - [9] Resistência dos maciços rochosos.....	39
Fórmula - [10] Resistência dos maciços de muito má qualidade	39
Fórmula - [11] Correlação para maciços rochosos de muito má qualidade	41
Fórmula - [12] Correlação para maciços rochosos de muito má qualidade	41
Fórmula - [13] Valor ressalto R "Martelo Clássico Schmidt"	56
Fórmula - [14] Valor ressalto Q "Martelo clássico SilverSchmidt"	56
Fórmula - [15] Sistema de medição robusto o valor de ressalto Q,	56
Fórmula - [16] Calculo da dimensão das provetas perpendiculares ao eixo ensaio	66
Fórmula - [17] Índice carga pontual.....	67
Fórmula - [18] Índice carga pontual normalizada	68
Fórmula - [19] Índice de carga pontual normalizada	68
Fórmula - [20] Diâmetro equivalente, De	68
Fórmula - [21] Diâmetro equivalente, De	68
Fórmula - [22] Índice de anisotropia	69
Fórmula - [23] Resistência mecânica à flexão.....	76
Fórmula - [24] Dimensão dos provetes segundo a menor dimensão (w), perpendicular ao eixo de ensaio	127
Fórmula - [25] Cálculo da resistência à flexão sob carga centrada.....	142

1

Introdução Geral

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Enquadramento do tema

Para o estudo dos materiais geológicos (solos e/ou rochas) recorre-se, em geral, a três disciplinas científicas que tomam a designação de Mecânica dos Solos, de Mecânica das Rochas e de Geologia de Engenharia (e.g., Terzaghi & Peck, 1967; Rocha, 1981; Harck et al., 2004; Bock, 2006). As distinções, geralmente imputadas a cada uma delas, baseiam-se sobretudo nos diferentes métodos de investigação, de classificação, de metodologias de ensaio, de interpretação, de modelação e, por fim, de projecto.

Este estudo visa um estudo geológico-geotécnico e geomecânico dos materiais pétreos das antigas galerias da Mina das Aveleiras (também conhecida por Mina de Tibães), pertencente ao Mosteiro de S. Martinho de Tibães, situado na freguesia de Mire de Tibães, no Concelho de Braga.

Deste modo, o presente projecto estruturou-se, em linhas gerais, da seguinte forma: uma breve caracterização geológico-geotécnica e geomecânica dos maciços rochosos em geral, descrição das principais metodologias e técnicas sobre ensaios geomecânicos (em particular, ensaio esclerométrico, ensaio de carga pontual e ensaio de flexão) e umas breves notas sobre métodos de exploração de minas. Por fim, apresenta-se uma abordagem metodológica ligada à aplicação dos ensaios geomecânicos supracitados para o estudo dos materiais pétreos tomando como caso de estudo o maciço rochoso das galerias da Mina de Aveleiras localizada na Cerca do Mosteiro de S. Martinho de Tibães. O presente trabalho retoma, actualiza e expande o estudo de T. M. Ramos (2008).

1.2. Objectivos

Este estudo pretende, numa perspectiva metodológica, a descrição e caracterização dos aspectos geotécnicos e geomecânicos mais relevantes relacionados com os ensaios esclerométrico, de carga pontual e de flexão em materiais pétreos metassedimentares para apoiar o refinamento do zonamento geotécnico do maciço rochoso das antigas galerias mineiras. Além disso, pretende contribuir para a caracterização da compartimentação de maciços rochosos fracturados tendo em vista a comparação, as limitações e as potencialidades dos ensaios geomecânicos referidos.

Podemos destacar que os principais objectivos deste estudo geológico e geomecânico dos materiais pétreos das antigas galerias da mina das Aveleiras são os seguintes:

- A inspecção visual, reconhecimento do estado estrutural e da geologia da antiga Mina das Aveleiras;
- Reinterpretação da cartografia geológico-geotécnica do traçado subterrâneo utilizando a técnica de amostragem linear, com o objectivo de refinar o zonamento geotécnico do maciço;
- O estudo geomecânico do maciço das Aveleiras recorrendo à realização de ensaios geotécnicos “in situ” e de laboratório e à caracterização geomecânica das unidades geotécnicas identificadas;
- O cruzamento e a síntese de todos os dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos para o estabelecimento de uma síntese geológico-geotécnica do maciço.

MACIÇOS ROCHOSOS: GEOLOGIA APLICADA E GEOMECÂNICA

2. MACIÇOS ROCHOSOS: GEOLOGIA APLICADA E GEOMECÂNICA

2.1. Considerações iniciais

O engenheiro ligado às Ciências da Terra — Engenheiro Geólogo, Engenheiro Geotécnico, Engenheiro de Minas — durante a sua actividade profissional contacta inevitavelmente com os designados materiais geológicos, i.e., solos e/ou rochas. Estes materiais, devido à sua natureza intrínseca e à diversidade de processos geológicos que envolvem a sua génese, apresentam uma variedade muito vasta de características e propriedades. Nascimento (1990) considera o início da publicação da revista internacional “Geotechnique” em Londres, em 1948, como o reconhecimento formal da autonomia deste ramo face à Engenharia Civil.

Após a realização, em Harvard (E.U.A.) em 1936, do I Congresso da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações e, na cidade de Lisboa em 1966, do I Congresso Internacional da Sociedade de Mecânica das Rochas e, em 1970 em Paris (França), do I Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia, emergiu o domínio “Geotecnia” com autonomia científica e técnica (e.g., Rocha, 1981; Oliveira, 1990; Nascimento, 1990; Goodman, 1993; Rogers, 2002). Após essa época, consolidaram-se as disciplinas Mecânica das Rochas e Engenharia de Maciços Rochosos (e.g., Goodman, 1993; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007), bem como uma nova perspectiva da geologia dinâmica, em particular, da geologia estrutural e da tectónica (e.g., Ramsay & Huber, 1983, 1987; Davis & Reynolds, 1996). Mais recentemente surge um novo domínio, ainda mais integrador e de maior abrangência, denominado por “Ciências da Geoengenharia” (Manoliu & Radulescu, 2008). O geotécnico ligado à engenharia dos maciços rochosos, procurará seguir uma orientação diferente. Aos conceitos fundamentais introduzidos pelos geólogos estruturalistas e aplicados, num quadro mais quantitativo e dinâmico ao nível da aquisição de dados, o geotécnico ver-se-á perante a necessidade de avançar no sentido de apoiar os estudos dos maciços rochosos para obras de engenharia civil e/ou mineiras (e.g., Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007).

A determinação das características geomecânicas do maciço surge como uma das prioridades em qualquer projecto de engenharia (Dinis da Gama, 1991). Estas posturas de investigação tornaram-se, assim, divergentes embora com áreas de sobreposição e complementares. O geotécnico assentará aliás grande parte da sua linguagem no vocabulário e nas noções básicas das Geociências mas evoluirá no sentido da Resistência dos Materiais e das Mecânicas dos Solos e das

Rochas, posicionando-se, definitivamente, na linguagem e na prática do engenheiro (Rocha, 1981; Brown, 1991; Bock, 2006).

Os maciços rochosos e/ou terrosos suportam solicitações promovidas pelas estruturas de engenharia que afectam a sua segurança e desempenho (e.g., Terzaghi, 1965; Brady & Brown, 2004). Deste modo, para projectar e construir estruturas de engenharia seguras e económicas há necessidade vital de determinar as características e as propriedades geológico-geotécnicas dos maciços onde estas são implantadas. Para tal, recorre-se à execução de ensaios de campo e de laboratório, bem como à sua interpretação e adequação ao problema a resolver, no sentido de atingir tal desiderato.

É fundamental o acompanhamento técnico sistemático de uma dada obra de engenharia para auxiliar a tomada de decisão, quer nos aspectos mais amplos do projecto quer na resolução de problemas pontuais. Assim, em estudos de caracterização geotécnica e geomecânica de maciços fracturados a contribuição da geologia e da geomorfologia é de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (e.g., Terzaghi, 1965; Rocha, 1981; Vidal Romaní & Twidale, 1999). Além disso, em qualquer projecto geotécnico são importantes os pressupostos técnico-científicos referidos na Figura 1, os quais deverão estar sempre perspectivados numa lógica de gestão económica racional para a sua concretização (Dinis da Gama, 1995; Mazzoccola et al., 1997).

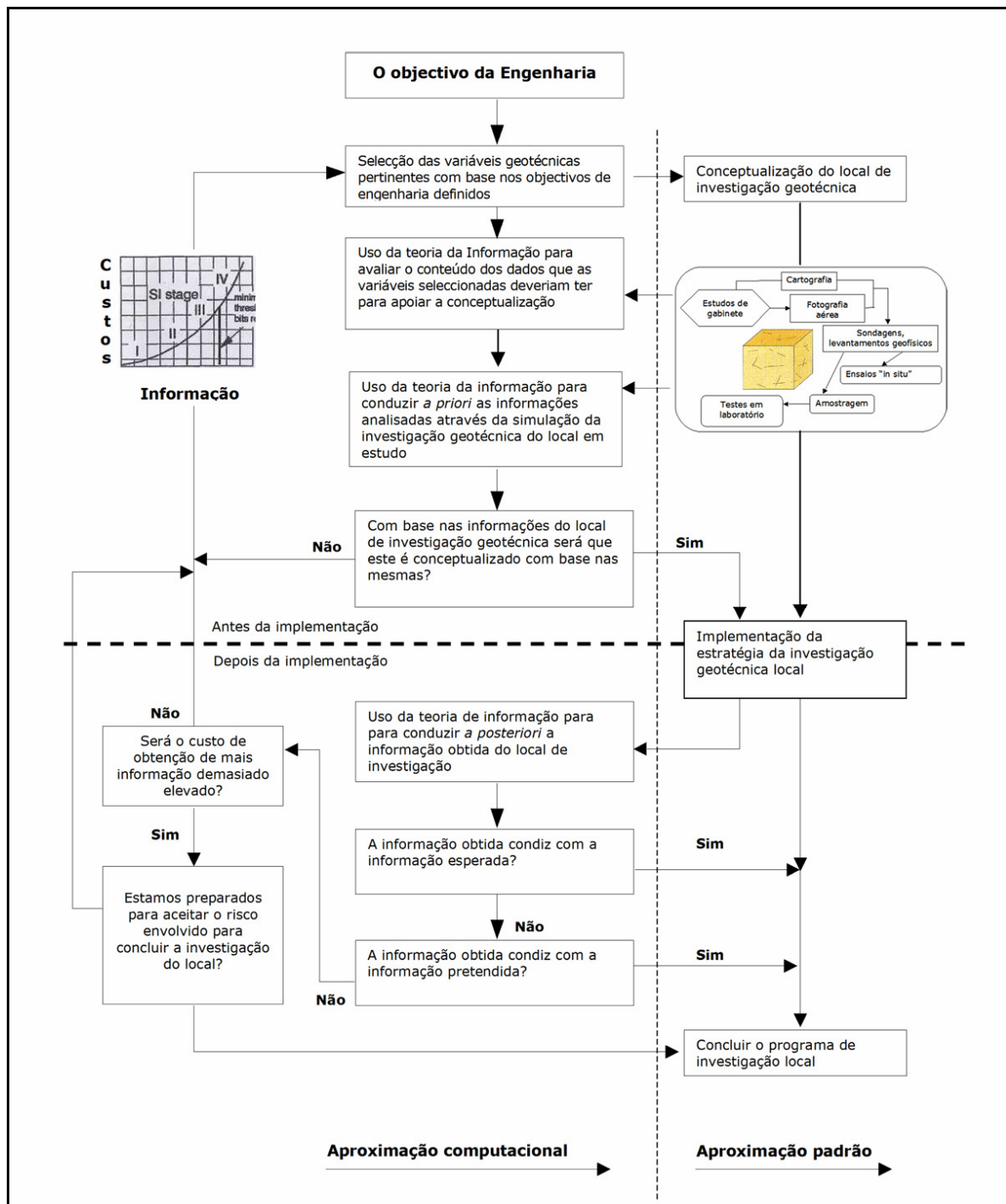


Figura 1 – Um esquema para a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (adaptado de Mazzoccola et al., 1997).

2.2. Fases do estudo geológico-geotécnico

É prática corrente considerar-se que os estudos geológico-geotécnicos e geomecânicos para a recuperação de antigos georrecursos subterrâneos se desenvolvam nas diversas fases do projecto

estando associados aos estudos de reconhecimento “in situ” e que se prolongam para a fase de reforço estrutural e até mesmo de serviço da obra.

Numa primeira abordagem, é fundamental que se realize uma pesquisa bibliográfica que permita analisar todos os antecedentes da exploração mineira, tais como, as matérias-primas exploradas e a forma como se desenvolvia a lavra para que se faça todo o enquadramento geológico-geotécnico estrutural. Esta fase deve ser ainda complementada com uma rigorosa inspecção in situ com o objectivo de analisar a existência de perigos iminentes de derrocadas e aluimentos, para que se tomem medidas no sentido de minimizar os perigos para que as fases seguintes de reconhecimento se desenvolvam em segurança.

Na fase de reconhecimento in situ, os trabalhos visam, essencialmente, a caracterização da compartimentação do maciço rochoso, realizando o registo das características geométricas e mecânicas de todas as descontinuidades. Os estudos a realizar são apoiados na recolha da informação geológica de base, especialmente a litológica, a geológico-estrutural, incluindo as condições hidrogeológicas e geomorfológicas. No Quadro 1 apresenta-se de forma esquemática o conjunto de actividades geológicas e geotécnicas e suas finalidades no âmbito da elaboração do projecto de obras subterrâneas.

Quadro 1 – Estudos geológicos e geotécnicos para o projecto de túneis (compilado de Jimeno, 2003).

FASES DO PROJECTO	ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	FINALIDADE
Estudo de Viabilidade	<p>Recolha de toda a informação disponível: topografia, geomorfologia, geologia e hidrogeologia</p> <p>Análise das fotografias aéreas e imagens de satélite; fotogeologia</p> <p>Reconhecimento geomorfológico e geológico de superfície: litologia/estratigrafia e geologia estrutural</p> <p>Trabalhos expeditos de prospecção geotécnica</p>	<p>Localização do túnel – Traçado</p> <p>Modelo geológico</p>
Projecto	<p>Prospecção geofísica, geotécnica e mecânica Ensaios "in situ"</p> <p>Ensaios de Laboratório</p>	<p>Zonamento geotécnico</p> <p>Classificação geomecânica</p> <p>Definição dos métodos de escavação</p> <p>Definição dos sustimentos primários</p> <p>Definição do reforço e contenção dos terrenos</p> <p>Localização dos emboquilhamentos</p>
Construção	<p>Prospecção na frente de avanço</p> <p>Cartografia das superfícies de escavação</p> <p>Registo de ocorrências na obra</p> <p>Observação do comportamento</p> <p>Ensaios "in situ"</p>	<p>Eventual adaptação ao projecto</p> <p>Definição dos sustimentos colocados</p> <p>Detecção de situações anómalas em avanço, nas frentes de escavação</p>
Serviço	Instrumentação e observação	Avaliar comportamento da obra a médio e longo prazo

2.3. Maciços rochosos: caracterização geológico-geotécnica

2.3.1. Reconhecimento geológico

Em termos genéricos, e à semelhança do que se efectua para o restante traçado subterrâneo, procede-se, numa primeira fase, a uma recolha sistemática da informação possível que contemple a área em estudo recorrendo ao estudo selectivo da bibliografia regional, à análise de mapas topográficos e fotografias aéreas e/ou imagens de satélite e, por fim, ao estudo, caso existam, dos relatórios geológicos e geotécnicos preliminares. Posteriormente, efectua-se o reconhecimento geológico e geomorfológico de superfície da área em estudo. Com esta tarefa prioritária, consegue-se estabelecer o desenvolvimento das várias unidades geológicas existentes, bem como de acidentes geotectónicos (à escala regional e local) que se considerem de importância para o projecto e para a obra.

Os trabalhos de campo nas faces expostas do maciço permitem obter informação necessária para avaliar o comportamento geotécnico dos maciços rochosos, planificar as fases de investigação seguintes e interpretar os resultados que se obtenham das mesmas. A descrição deve incluir todos os aspectos e parâmetros que possam ser observados, deduzidos e medidos nas paredes das galerias.

Assim, a metodologia a seguir para uma correcta descrição do maciço rochoso pode resumir-se nas seguintes etapas:

- Descrição das características geológicas e geomecânicas;
- Divisão em zonas geotécnicas e descrição geral de cada zona;
- Descrição geológico-geotécnica pormenorizada de cada zona: i) Material-rocha; ii) Descontinuidades; iii) Descrição dos parâmetros geotécnicos do maciço rochoso.

O estudo geral do maciço deverá incluir a identificação, a descrição das condições gerais das superfícies expostas do maciço e a caracterização dos vários aspectos geológico-geotécnicos, i.e., o tipo de litologias e do material-rocha, o estado de alteração, o estudo das descontinuidades e as condições hidrogeológicas. Assim, para o estudo das características geológico-geotécnicas dos maciços rochosos dever-se-á recorrer à técnica da amostragem linear (e.g., Lamas, 1989; Dinis da Gama et al., 1992; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al., 2001; Brady & Brown, 2004) aplicada à Descrição Geotécnica Básica dos Maciços Rochosos (“Basic Geotechnical Description of Rock

Masses”) da ISRM - International Society for Rock Mechanics (1981) ou, simplesmente, designada por BGD.

A divisão em zonas geotécnicas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios essencialmente litológicos, geológico-estruturais e geotécnicos (especialmente os parâmetros: grau de alteração, grau de fracturação e resistência). A descrição de cada zona deve ser o mais objectiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (e.g., International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1978, 1981, 2007; Geological Society Engineering Group Working Party Report (GSE), 1995; Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF), 1996) e devendo ser efectuada uma caracterização de forma qualitativa e, sempre que possível, quantitativa. Por outro lado, dá-se uma atenção particular ao estudo das famílias e das características geológico-estruturais das descontinuidades ocorrentes.

2.3.2. Cartografia das superfícies expostas do maciço

O primeiro passo no estudo das superfícies expostas do maciço rochoso deve ser a identificação do mesmo e a sua descrição geral. Posteriormente leva-se a cabo a divisão em zonas — denominadas por zonas geotécnicas — e a descrição das mesmas. É de extrema utilidade a realização de fotografias e desenhos esquemáticos, onde se deverá indicar as características geológico-geotécnicas básicas de cada zona (Oliveira, 1990; Zuquette & Gandolfi, 2004).

Em geral, num maciço rochoso dever-se-á estabelecer distintas áreas com diferentes aspectos e tipos de materiais rochosos, por exemplo, heterogeneidade litológica, elementos geológico-estruturais, grau de fracturação, grau de alteração, etc., o que permitirá uma divisão inicial por zonas ou, até mesmo, em sub-zonas (Zuquette & Gandolfi, 2004). Esta abordagem facilitará as posteriores descrições geológico-geotécnicas e a aplicação sistemática dos procedimentos técnicos julgados adequados.

Em determinadas ocasiões podem existir poucos afloramentos ou estes apresentarem pouca extensão o que dificultará a tarefa de estudo desse maciço. Nestas situações recomenda-se o seguinte (Ferrer & González de Vallejo, 1999; Carvalho & Chaminé, 2004):

- Identificação do afloramento: localização, situação geográfica, acessibilidade, extensão, características geométricas, etc.
- Fotografias e esquemas de campo.
- Descrição geológica geral:
 - Caracterização das unidades geológicas regionais e/ou locais;

- Descrição e caracterização das litologias;
 - Descrição da macro e mesoestruturas;
 - Traços geológico-estruturais gerais do maciço;
 - Identificação das zonas alteradas e meteorizadas, bem como das espessuras das mesmas;
 - Presença de água, exurgências, etc.
- Divisão em zonas e descrição geral de cada zona geotécnica: o estudo realizar-se-á com base em critérios litológicos e estruturais considerando os sectores mais ou menos homogéneos do afloramento; não é conveniente estabelecer demasiadas zonas.
 - Identificação de zonas singulares: são aquelas zonas, com a existência de elementos estruturais não sistemáticos, que não se repetem no maciço e, por isso, têm influência nas suas propriedades e comportamento geomecânico; por exemplo, falhas, filões, zonas de brecha, cavidades, zonas de fluxo de água, etc. Estas zonas devem ser tratadas e descritas de forma individualizada.

Os mapas geotécnicos constituem um método em Engenharia Geotécnica e Geologia Aplicada para representar, cartograficamente, informação geotécnica para fins de planeamento e de ordenamento do território e, bem assim, para o projecto, a construção e a manutenção de obras de engenharia. Estes mapas incluem dados sobre as características e propriedades de superfície e de sub-superfície de uma determinada área que permitem avaliar o seu comportamento dos problemas geológico-geotécnicos (IAEG, 1981a,b, 2005).

Os mapas geotécnicos devem considerar os seguintes aspectos gerais de interesse na Engenharia Geotécnica (González de Vallejo et al., 2002): i) Descrição e classificação geotécnica dos materiais terrosos e rochosos; ii) Propriedades físicas e mecânicas dos materiais; iii) Condições hidrogeológicas; iv) Processos geomorfológicos e geodinâmicos.

Os mapas geotécnicos são de extrema importância para os seguintes campos (UNESCO, 1976; IAEG, 1981a,b, 2005; González de Vallejo et al., 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004), a saber:

1. Planeamento do território (regional, local e urbano)
 - Escalas pequenas ou médias; incluem informação sobre os factores com incidência construtiva, necessária para conhecer os problemas relacionados com fundações, escavações, estabilidade de terrenos, recursos naturais, reservas de água e armazenamento de resíduos.

2. Obras de engenharia (e.g., estradas, caminhos de ferro, túneis e barragens)

- Estudos prévios ou de viabilidade para selecção de traçados;
- Informação e dados para o projecto e construção de uma obra.

A cartografia geotécnica é constituída por uma série de cartas, a saber:

- Cartas de factores;
- Cartas de síntese;
- Cartas de zonamento geotécnico;
- Cartas de aptidão. Os mapas geotécnicos incluem, entre outras, várias informações sobre os materiais geológicos, dados geomorfológicos e hidrogeológicos, dados quantitativos dos diferentes componentes do meio geológico, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e informações interpretativas para sua aplicação geotécnica.

Independentemente do tipo de mapa, estes devem incluir uma série de informação básica (IAEG, 1981a,b, 2005):

- Topografia e toponímia;
- Distribuição e descrição litológica das unidades geológicas;
- Espessuras dos solos, formações superficiais e rochas alteradas;
- Descontinuidades e dados geológico-estruturais;
- Classificação geotécnica de solos e rochas;
- Condições hidrogeológicas;
- Condições geomorfológicas;
- Processos dinâmicos;
- Investigações prévias existentes;
- Riscos geológicos.

2.3.3. Técnica de amostragem linear aplicada ao estudo de superfícies de descontinuidades

Seguidamente, e de uma forma breve, descreve-se a técnica de amostragem linear de superfícies de descontinuidades ocorrentes numa superfície exposta do maciço rochoso (Figura 2). Esta técnica está descrita, entre outros, por Priest & Hudson (1981), Hudson & Priest (1983), Dinis da Gama (1995), Chaminé & Gaspar (1995), Peacock *et al.* (2003) e Brady & Brown (2004). Com esta técnica não se pretende efectuar o levantamento exaustivo de todas as descontinuidades ocorrentes numa dada superfície exposta de rocha, mas sim obter dados a partir dos quais se

poderão extrapolar as características de compartimentação do maciço rochoso da zona em estudo. Em Portugal esta técnica foi aplicada, por exemplo, em contextos geológico-geotécnico diferentes deste trabalho (por exemplo, Lamas, 1989; Dinis da Gama et al., 1992; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al., 2001; Pereira et al., 2005; Martins et al., 2006; Ramos, 2008).

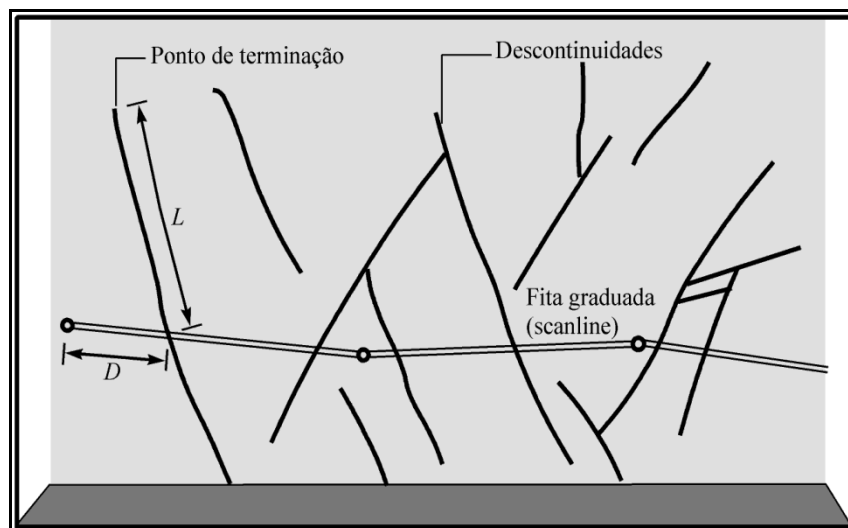


Figura 2 – Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004) D – distância à origem da fita, L – semi-comprimento exposto.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em superfícies expostas do maciço e no registo de algumas características (geométricas e mecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas. Para cada descontinuidade que intersecta a linha de amostragem registam-se as seguintes grandezas (ISRM, 1978, 1981; Brady & Brown, 2004):

- D: distância à origem da fita graduada;
- L: semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face de rocha, apenas para um dos lados da fita graduada;
- T: tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R: na rocha; D: noutra descontinuidade; O: obscura);
- Atitude da descontinuidade (direcção/inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade;
- C: curvatura, numa escala de C_1 a C_5 , em que C_1 representa superfícies planas e C_5 superfícies muito curva;
- R: rugosidade, numa escala de R_1 a R_5 , representando R_1 uma superfície lisa e R_5 uma superfície muito rugosa.

Além destas grandezas podem ser ainda, eventualmente, registadas outras características das discontinuidades, tais como, abertura, tipo de preenchimento, presença de água e qualquer outra característica que se entenda relevante.

Todos os dados respeitantes a cada linha de amostragem são devidamente registados numa ficha de levantamento de discontinuidades da qual constam, além das grandezas já mencionadas, as seguintes (Quadro 2):

- Número da linha de amostragem;
- Localização da linha de amostragem;
- Atitude da linha de amostragem;
- Direcção do hasteal (ou talude) estudado;
- Litologia;
- Grau de alteração;
- Data do levantamento;
- Rubrica do responsável pelo levantamento.

Quadro 2 – Ficha tipo de levantamento geológico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.

FICHA DE LEVANTAMENTO Nº _____																
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>Orientação: do Perfil _____ da "Scanline" _____</p> <p>Coordenadas do Ponto de Origem da Fita: _____</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Data: ____/____/____</p> <p>Nome: _____</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Localização: _____</p> <p>Rubrica: _____</p> </div> </div>																
Descontinuidade nº	Distância à origem (m) D	Litologia	Alteração		Atitude Dir./Inc.	Tipo de desconti- nuidade	Abertura	Espaça- mento (cm) F	Comprimento L	Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Enchimento	Presença de água	Tipo de Cunha Fav./Desf.	Observações
			Tipo	Class.												

2.3.4. Parâmetros geológicos – geotécnicos dos maciços

Para a caracterização global do maciço rochoso a partir dos dados obtidos no estudo dos afloramentos, juntamente com a descrição dos seus componentes, da matriz-rochosa e das descontinuidades, devem ser considerados outros aspectos representativos do conjunto, tais como:

- número e orientação das famílias de descontinuidades;
- tamanho de blocos e intensidade da fracturação;
- grau de alteração.

O comportamento mecânico do maciço rochoso e os seus mecanismos de rotura estão condicionados, em grande parte, pelo número de famílias de descontinuidades. A intensidade do grau de fracturação e o tamanho dos blocos da matriz rochosa são dados pelo número de famílias de descontinuidades e pelo espaçamento de cada família. Cada uma das famílias fica caracterizada pela sua orientação no espaço, pelas suas propriedades e características dos planos estruturais.

A orientação média de uma família avalia-se, como se referiu anteriormente, mediante técnicas de projecção estereográfica ou de diagramas de rosetas, a partir de dados das medições de campo para cada descontinuidade. Actualmente existem programas informáticos para realizar este tipo de trabalho de uma forma expedita e rigorosa, como é o caso do programa utilizado neste trabalho, o “Dips version 5.1” da Rocscience.

O maciço pode classificar-se pelo número de famílias, variando entre maciços rochosos maciços com apenas uma família de descontinuidades e maciços com três ou mais famílias de descontinuidades (Quadro 3).

Quadro 3 – Classificação de maciços rochosos pelo número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).

Tipo de maciço rochoso	Número de famílias
I	Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
II	Uma família de descontinuidades.
III	Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
IV	Duas famílias de descontinuidades.
V	Duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VI	Três famílias de descontinuidades.
VII	Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VIII	Quatro ou mais famílias de descontinuidades.
IX	Maciço de rocha esmagada, com o aspecto idêntico ao de um solo.

2.3.5. Descontinuidades

As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de bloco-diagramas, permitindo assim a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa (Figura 3).

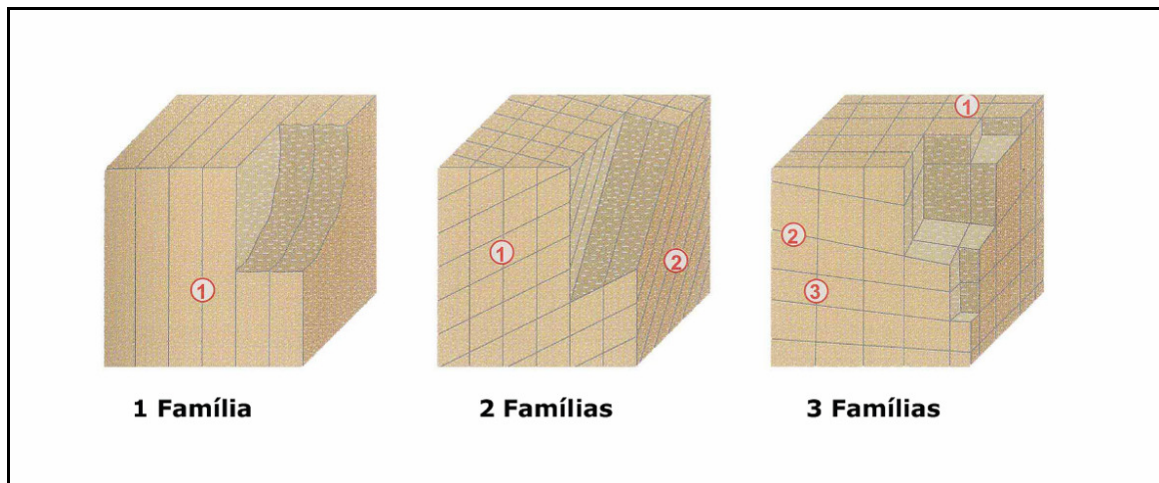


Figura 3 – Representação do número de famílias mediante bloco-diagramas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

O tamanho do bloco unitário é, em muitos aspectos da geotecnia, um dos parâmetros mais críticos a determinar para os maciços rochosos. No entanto, em vários casos, torna-se um parâmetro difícil de quantificar, sendo por vezes impossível a sua determinação por métodos expeditos. Como consequência, a estimativa do bloco unitário é tipicamente realizada e incorporada nas classificações dos maciços rochosos. Conceptualmente, a determinação deste parâmetro pode-se considerar como produto de três parâmetros geológico-geotécnicos simples (ISRM, 1978; Rocha, 1981): a orientação dos sistemas de descontinuidades, o espaçamento real (espaçamento perpendicular entre diaclases de uma mesma família) e a persistência.

A determinação do tamanho do bloco realiza-se, normalmente, das seguintes formas (ISRM, 1978; González de Vallejo et al., 2002):

- Mediante o Índice do Tamanho do Bloco, I_b ("Block Size Index") [1], que representa as dimensões médias dos blocos tipo medidos no afloramento. Por exemplo, no caso de um dado material rochoso com descontinuidades e com famílias de descontinuidades perpendiculares entre si, o índice I_b seria definido por:

$$I_b = \frac{(e_1 + e_2 + e_3)}{3} \quad [1]$$

Sendo e_1 , e_2 e e_3 os valores médios do espaçamento das três famílias de descontinuidades.

- Mediante o parâmetro J_v , que representa o número total de descontinuidades que interceptam uma unidade de volume (1 m^3) do maciço rochoso. Uma vez que existe dificuldade em observar tridimensionalmente um afloramento, o valor de J_v [2] determina-se através de contagem de descontinuidades de cada família que interceptam uma longitude determinada, medindo perpendicularmente a direcção de cada uma das famílias (atribui-se um factor de correcção em relação à direcção aparente):

$$J_v = \Sigma \frac{n^\circ \text{ descontinuidades}}{\text{comprimento medido}} \quad [2]$$

Por um exemplo, para um maciço com 3 famílias de descontinuidade (J_1 , J_2 e J_3):

$$J_v = \left(\frac{n^\circ J_1}{L_1} \right) + \left(\frac{n^\circ J_2}{L_2} \right) + \left(\frac{n^\circ J_3}{L_3} \right) \quad [3]$$

O comprimento a medir dependerá do espaçamento de cada família, variando normalmente entre 5 e 10 metros. A forma mais rápida, apesar de menos exacta, será através da estimativa do valor J_v contando o número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento L , correspondendo este valor a uma frequência, λ :

$$\lambda = \frac{n^\circ \text{ descontinuidades}}{L(m)} \quad [4]$$

ou

$$\lambda = \frac{1}{\text{Espaçamento.médio.descontinuidades}(m)} \quad [5]$$

O valor de J_v relaciona-se com o tamanho dos blocos segundo o Quadro 4. O Quadro 5 apresenta uma classificação do maciço rochoso em função da forma e tamanho de bloco e da intensidade de fracturação.

Quadro 4 – Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (ISRM, 1981).

Descrição	J_v (descontinuidade/m ³)
Blocos muito grandes	<1
Blocos grandes	1 – 3
Blocos médios	3 – 10
Blocos pequenos	10 – 30
Blocos muito pequenos	> 30

Quadro 5 – Apresenta uma classificação do maciço rochoso em função da forma e tamanho de bloco e da intensidade de fracturação.

Classe	Tipo	Descrição
I	Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo.
II	Cúbico	Blocos aproximadamente equidistantes.
III	Tabular	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas.
IV	Colunar	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a vertical) consideravelmente maior que as outras duas.
V	Irregular	Grandes variações no tamanho e forma dos blocos.
VI	Esmagado	Blocos com dimensões bastante pequenas.

O grau de fracturação expressa-se habitualmente pelo índice RQD (Rock Quality Designation) [6]. Apesar da sua utilidade prática, este índice não considera aspectos como a orientação, o espaçamento, os preenchimentos e outras condições das descontinuidades, logo não será suficiente para descrever as características da fracturação dos maciços rochosos. O índice RQD pode estimar-se em afloramentos a partir de correlações empíricas como a de Palmstrom (1975) (in ISRM, 1981):

$$\begin{aligned} RQD &= 1153 - 3,3 * J_v && \text{para } J_v > 4,5 \\ RQD &= 100 && \text{para } J_v \leq 4,5 \end{aligned} \quad [6]$$

Por exemplo, para um maciço rochoso de qualidade aceitável com um RQD de 65%, o valor correspondente de J_v é de 15; no entanto para um maciço rochoso de qualidade má, com RQD de 30, J_v terá um valor 26.

O valor do índice de RQD [7] também se determina a partir da frequência das descontinuidades, λ , mediante a seguinte expressão que proporciona o valor teórico mínimo do RQD:

$$RQD \approx 100^{(-0,1 \times \lambda)} (0,1 \times \lambda + 1) \quad [7]$$

Onde λ é a inversa do espaçamento médio das descontinuidades.

A Figura 4 apresenta o equipamento de campo básico para estudos de compartimentação de maciços rochosos recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos.

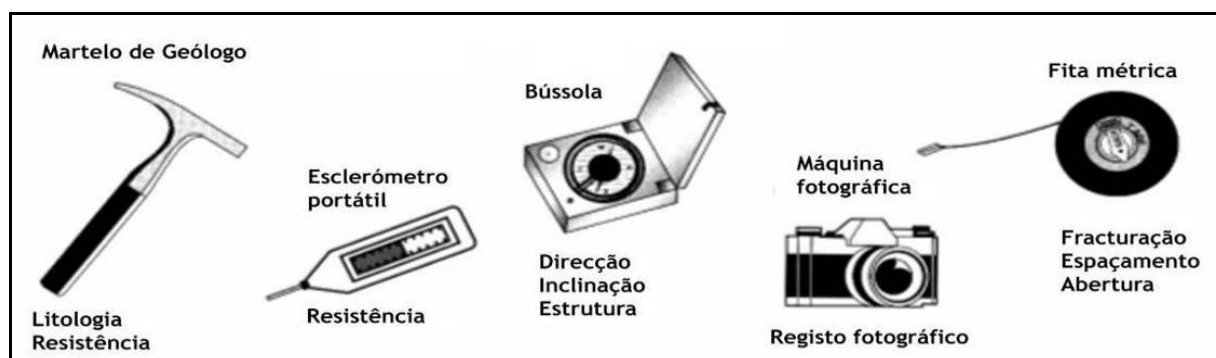


Figura 4 – Equipamento de campo básico para o levantamento pela técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Na descrição das diferentes famílias de descontinuidades num maciço rochoso inclui-se as seguintes parâmetros geológico-geotécnicos (Figura 5):

- atitude geológica (direcção/inclinação);
- espaçamento;
- continuidade ou persistência;
- rugosidade;
- resistência da parede das descontinuidades;
- abertura;
- enchimento;
- grau de alteração;
- percolação.

Alguns destes parâmetros, como a rugosidade, a abertura e o enchimento, determinam o comportamento mecânico e a resistência dos planos de descontinuidade, a descrição e medições destes parâmetros são realizados, em regra, no campo.

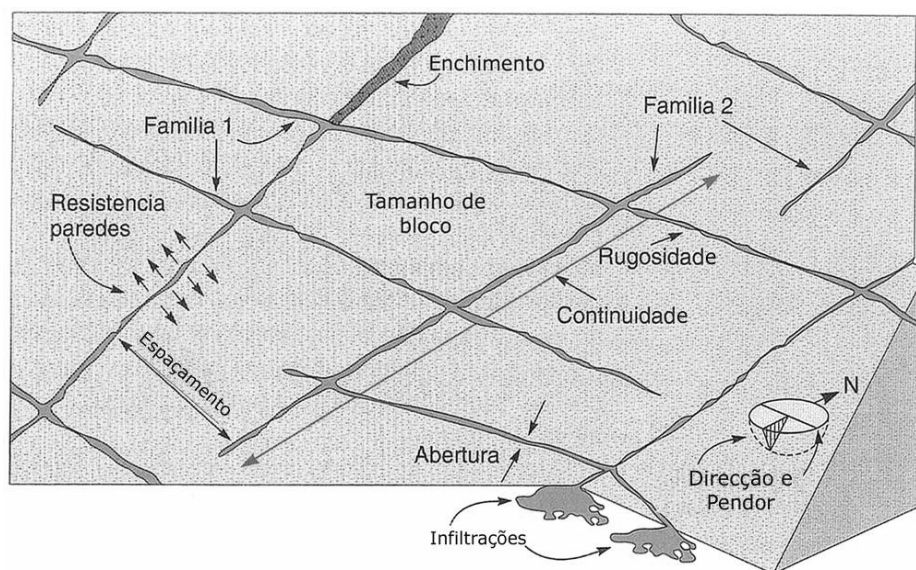


Figura 5 – Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

2.3.6. Atitude geológica (direcção/inclinação)

As descontinuidades apresentam-se em famílias com atitude e características geológico-estruturais mais ou menos homogêneas. A orientação relativa e o espaçamento das diferentes famílias de um maciço rochoso definem a forma de blocos existentes no maciço. Assim, a atitude

de uma descontinuidade (Figura 6) é definida pela direcção, i.e., o ângulo que a descontinuidade faz em relação ao Norte (magnético) e pela inclinação que corresponde ao ângulo formado com a horizontal pela linha de maior declive do plano no quadrante em questão (variando entre 0º e 90º). A medição da atitude das descontinuidades realiza-se através de uma bússola com clinómetro (ou “bússola de geólogo”).

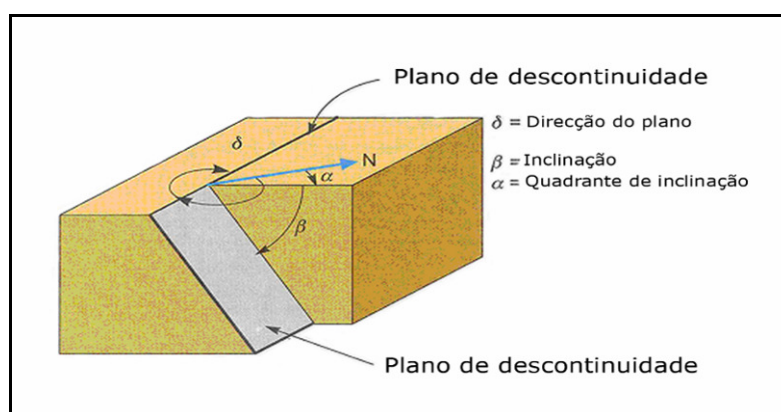


Figura 6 – Avaliação da atitude geológica de uma descontinuidade (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

No estudo de um maciço rochoso é aconselhável medir um número suficiente de descontinuidades para definir cada família. O número de medidas dependerá da dimensão da zona estudada, da aleatoriedade das orientações dos planos e dos detalhes em análise adequados ao caso em estudo. Se as orientações são relativamente constantes poder-se-á reduzir o número de medidas. Assim, considera-se família de descontinuidades como o conjunto de todas as descontinuidades que apresentam idêntica orientação (Rocha, 1981).

A representação gráfica da orientação das diferentes famílias de descontinuidades pode ser realizada mediante:

- Diagramas geológico-estruturais (nomeadamente os diagramas de contorno estrutural e os diagramas de rosetas), permitem uma visão geral das famílias e sua orientação.
- Os diagramas de rosetas permitem representar e visualizar as orientações das famílias principais (Figura 7) Recorrendo à projecção estereográfica (em regra, hemisfério inferior e rede estereográfica de Schmidt-Lambert), pode-se representar os pólos e os planos estruturais das diferentes famílias (Figura 8).
- Símbolos em mapas geológicos, que indicam o valor médio da direcção e o valor de inclinação para os diferentes tipos de descontinuidades (juntas ou diaclases, falhas, xistosidades, etc.).

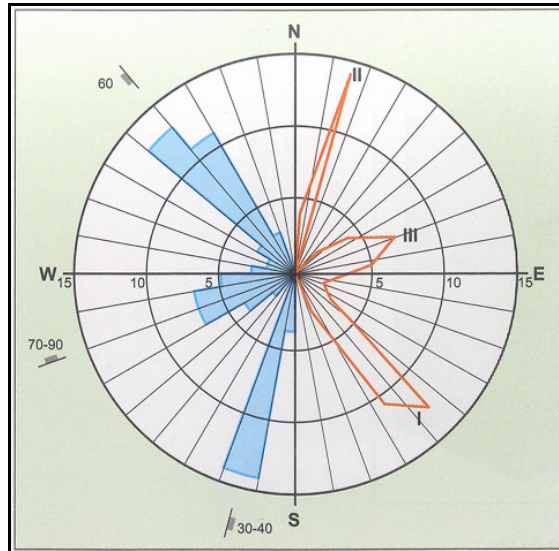


Figura 7 – Representação esquemática de dados estruturais num diagrama de rosetas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

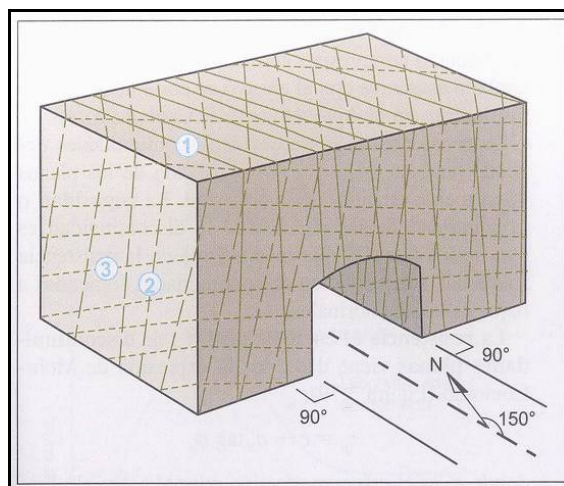


Figura 8 – Representação das famílias principais em bloco diagrama (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

2.3.7. Espaçamento

O espaçamento é a distância média medida na perpendicular entre os planos de descontinuidade da mesma família. O espaçamento das descontinuidades, especialmente no caso das diaclases, condiciona:

- O tamanho individual dos blocos de rocha intacta. Se o maciço tiver uma fracturação muito apertada reúnem-se condições para que o seu comportamento se aproxime do evidenciado por materiais de natureza granular;

- Em casos excepcionais, um espaçamento apertado pode modificar o tipo de rotura da massa rochosa, ou seja, de uma rotura planar para uma rotura circular;
- Tal como no caso da atitude, a importância do espaçamento aumenta quando outras condições para a deformação estiverem presentes. Por exemplo, a reduzida resistência ao corte e um número suficiente de descontinuidades combinam-se para que um escorregamento possa ocorrer;
- O espaçamento individual de descontinuidades e a associação de várias famílias influenciam fortemente a permeabilidade do maciço e as suas características de percolação.

A Figura 9 apresenta a proposta da ISRM (1981) para a medição do espaçamento entre descontinuidades, devendo seguir-se as recomendações que conduzem à sua avaliação.

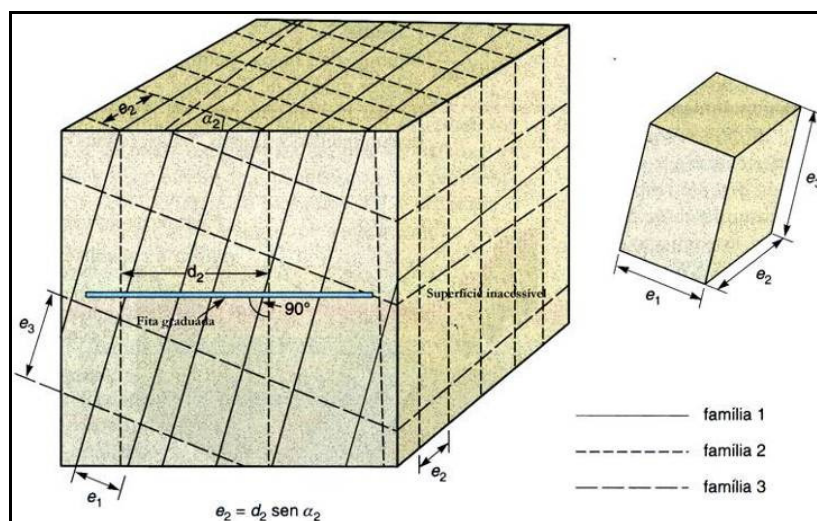


Figura 9 - Medição do espaçamento entre descontinuidades a partir de uma face exposta do maciço (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

A medição deste parâmetro é geralmente realizada com o auxílio de uma fita graduada (Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Brady & Brown, 2004) e deve ser feita ao longo de um comprimento que seja suficientemente representativo da frequência de descontinuidades.

A ISRM (1978, 1981) propõe que seja utilizada uma terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades (Quadro 6). A Figura 10 apresenta exemplos de descontinuidades com diferentes espaçamentos. A continuidade ou persistência de um plano de descontinuidades é medida segundo o seu traço no plano de observação. É um parâmetro de

grande importância mas de difícil quantificação a partir da observação de afloramentos, onde se conseguem visualizar os traços dos planos de descontinuidade segundo uma inclinação aparente. A continuidade das descontinuidades é muitas vezes determinante para definir as características mecânicas de potenciais superfícies de ruptura.

Quadro 6 – Terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades segundo a ISRM (1978, 1981).

Intervalos (cm)	Simbologia		Designações	
> 200	F ₁	F ₁₋₂	Muito afastadas	Afastadas
60 – 200	F ₂		Afastadas	
20 – 60	F ₃	F ₃	Medianamente afastadas	Medianamente afastadas
6 – 20	F ₄	F ₄₋₅	Próximas	Próximas



Figura 10 – Exemplos de descontinuidade com espaçamentos diferentes (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

No caso de taludes rochosos e fundações de barragens é de enorme importância tentar avaliar o grau de continuidade das descontinuidades que apresentam orientação desfavorável à estabilidade. As diferentes famílias de descontinuidades devem ser classificadas relativamente à

sua continuidade, podendo utilizar-se os termos contínua, sub-contínua e descontínua para as distinguir. A Figura 11 ilustra de forma simplificada a aplicação dos diferentes termos.

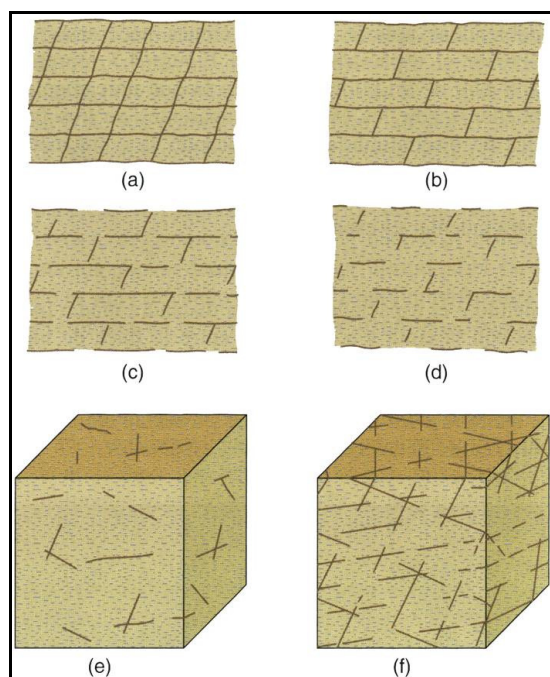


Figura 11 – Representações simples de blocos diagramas esquemáticos indicativos da continuidade de varias famílias de fracturas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

A medição da continuidade realiza-se mediante a utilização de uma fita graduada. É importante destacar as famílias mais contínuas, uma vez que geralmente, serão estas que condicionam os planos de rotura do maciço rochoso. A ISRM (1978, 1981) definiu o conceito de persistência, traduzido pelo comprimento das interações (L) da família de descontinuidades em estudo, numa superfície exposta e estabeleceu cinco termos (Quadro7).

Quadro 7 – Descrição da continuidade das descontinuidades (ISRM, 1981).

Continuidade	Distância (m)
Muito pouco contínuas	<1
Baixa continuidade	1 – 3
Continuidade média	3 – 10
Continuidade alta	10 – 20
Continuidade muito alta	> 20

2.3.8. Rugosidade

A rugosidade de um plano de descontinuidade determina a resistência ao corte, assim quanto maior for rugosidade maior será a resistência. A ondulação e a rugosidade dos planos podem controlar as possíveis direcções de deslocamento relativo dos blocos. Estas características definem a resistência ao corte para as distintas direcções, i.e., a resistência pode ser muito variável segundo a direcção do movimento. Consoante a direcção e intensidade dos sucessivos campos de tensões a que as descontinuidades estiveram submetidas, estas poderão apresentar várias ordens de ondulações. Quando as paredes das descontinuidades se encontram em contacto, estas ondulações causam dilatação durante o corte, dado que são demasiadamente grandes para serem cisalhadas; deste modo este tipo de ondulações é normalmente responsáveis pela orientação inicial do deslocamento. Ocorrem ainda ondulações de pequena escala (designadas de 2ª ordem), que tendem a sofrer cisalhamentos durante o deslocamento relativo dos blocos, contribuindo assim para o aumento da resistência ao corte avaliada, por exemplo, em ensaios de laboratório. No entanto no caso dos níveis de tensão de confinamento serem reduzidos, estas podem contribuir para o aumento da dilatância (Figura 12).

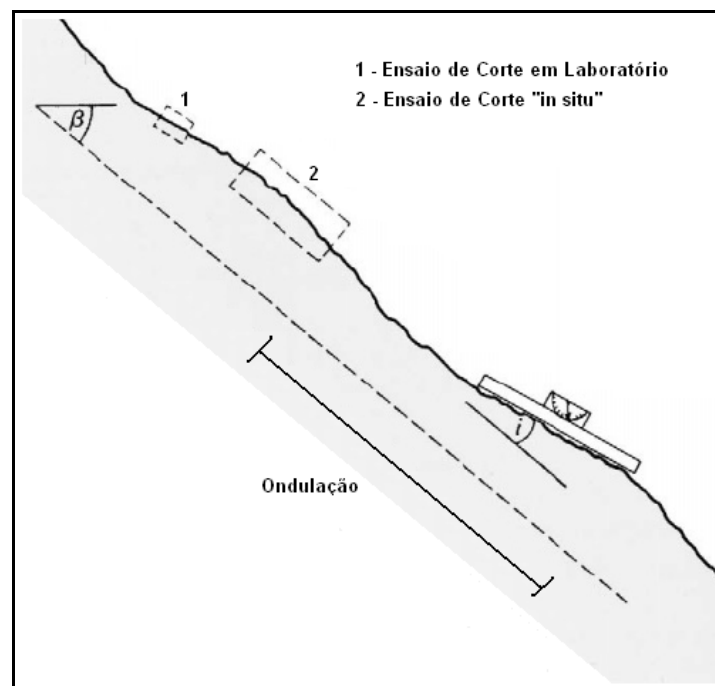


Figura 12 – Escalas de rugosidade, avaliadas segundo diferentes ensaios de corte. A ondulação pode ser caracterizada pelo ângulo (i) (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

O método mais expedito é o da comparação visual das discontinuidades com os perfis padrão de rugosidade. A ISRM (1978, 1981) considera que cada um dos três tipos de superfície de discontinuidade (denteada, ondulada ou plana) pode ser ainda subdividido em três sub-classes: rugosa, lisa e estriada (Quadro 8 e Figura 13).

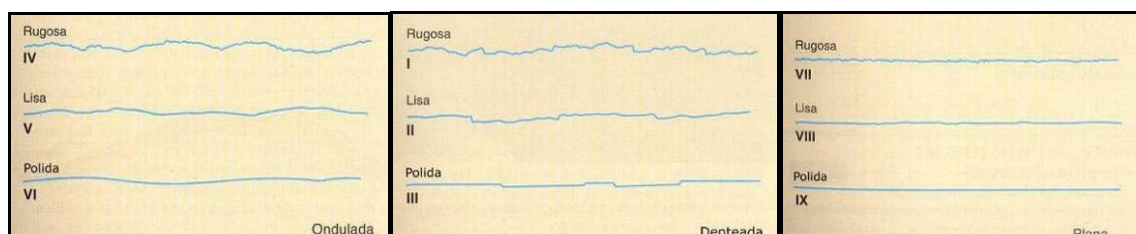


Figura 13 – Perfis de rugosidade, o comprimento dos perfis está entre 1 e 10 metros (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

Quadro 8 – Classificação da rugosidade das discontinuidades (adaptado da ISRM 1981).

Classe	Descrição	Designação	Forma de perfil
I	Rugosa	R_{1-2} Pouco rugosa	Denteada
III	Lisa		
III	Estriada		
IV	Rugosa	R_3 Medianamente rugosa	Ondulada
V	Lisa		
VI	Estriada		
VII	Rugosa	R_{4-5} Muito rugosa	Plana
VIII	Lisa		
IX	Estriada		

2.3.9. Resistência da parede das discontinuidades

As características das paredes dos blocos de material-rocha adjacentes à descontinuidade são outro aspecto a ter em conta, por serem condicionantes da sua resistência e das características de condutividade hidráulica. Assim, a resistência à compressão do material-rocha que constitui as paredes das descontinuidades é uma componente muito importante da resistência ao corte e deformabilidade. Especialmente no caso em que as paredes estão em contacto directo, o que acontece, em regra, no diaclasamento fechado. Por isso, recorre-se a uma definição da resistência obtida por meio de correlações com outras propriedades. Assim é habitual analisar o estado de alteração, a dureza determinada com esclerómetro portátil (martelo de Schmidt), ou simplesmente por resposta ao toque com o martelo de Geólogo. No quadro 9 apresenta-se a terminologia proposta pela ISRM (1978) para caracterizar as paredes do material-rocha que limitam a descontinuidade.

Quadro 9 – Terminologia para caracterização do estado de resistência (ISRM, 1978).

Termo	Descrição
Fresca ou sã	Não se observa sinais de meteorização na matriz rochosa.
Descolorada	Observam-se mudanças na coloração da matriz rochosa.
Desintegrada	A rocha é friável, apesar dos grãos minerais não estarem decompostos, mantendo-se a petrofábrica original.
Decomposta	A maioria dos minerais estão decompostos e não se reconhece a petrofábrica original.

A reduzida espessura da parede rochosa da descontinuidade que afecta a resistência ao corte e deformabilidade pode ser ensaiada por intermédio de ensaios índice de referência. A resistência à compressão uniaxial pode ser estimada de modo expedito por intermédio do esclerómetro portátil, do ensaio de carga pontual (Point Load Test), ou de outras metodologias qualitativas normalmente utilizadas nos levantamentos geológicos. Os minerais de cobertura da parede afectam a resistência ao corte das descontinuidades, especialmente quando as paredes são planares e lisas.

Neste caso, deve-se sempre que possível descrever o tipo de minerais que constitui a parede. Em caso de dúvidas devem-se colher amostras destas partículas minerais para ensaios laboratoriais. No caso de se utilizar o esclerómetro portátil deve referir-se que a heterogeneidade mineralógica de algumas rochas poderá afectar de forma substancial a previsão da sua resistência à compressão simples.

2.3.10. Abertura

A abertura é a distância perpendicular que separa as paredes da descontinuidade quando não existe qualquer tipo de enchimento (Figura 14).

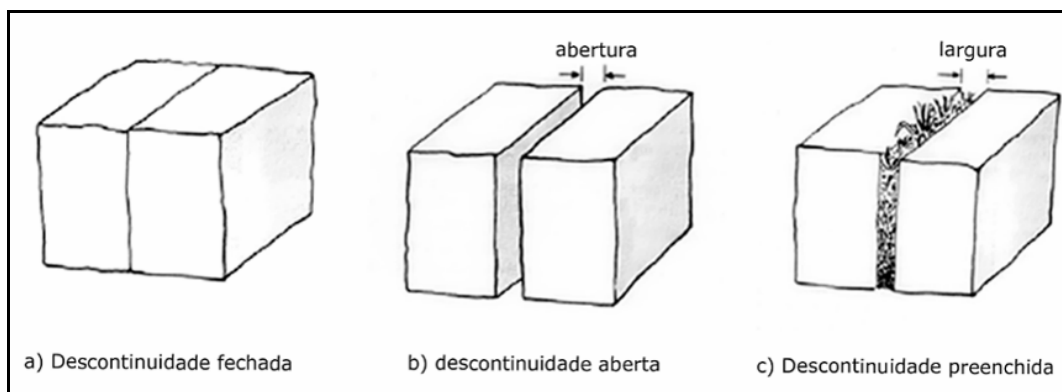


Figura 14 – Diagramas que ilustram as definições de abertura de descontinuidade (ISRM, 1978).

Este parâmetro pode ser muito variável em diferentes zonas de um mesmo maciço rochoso. Assim, a abertura pode ser elevada à superfície, enquanto que em profundidade tenderá para se encontrar fechada. A influência da abertura na resistência ao corte das descontinuidades é importante, pois modifica as tensões efectivas que actuam nas suas paredes. A sua medida realiza-se directamente com uma régua graduada (em milímetros). Quando a separação é muito pequena pode-se empregar um calibre que se introduz na abertura (Figura 15).

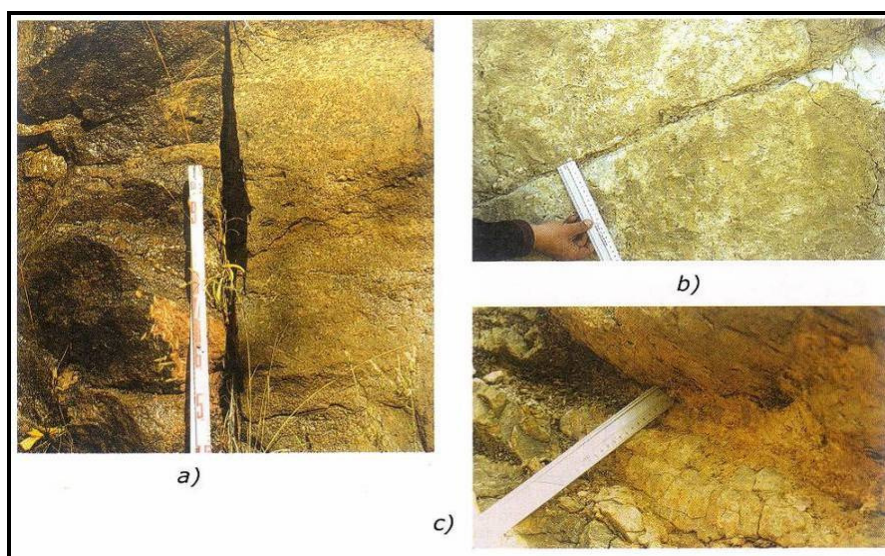


Figura 15 – Diferentes tipos de abertura: a) descontinuidade com grande abertura sem enchimento; b) descontinuidade “plana a rugosa”, com abertura e enchimento argiloso; c) descontinuidade “ondulada-rugosa” com abertura muito grande e enchimento argiloso (adaptado de González de Vallejo et al., 2000).

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de abertura de descontinuidades, os maciços sejam descritos como se apresenta no Quadro 11, sendo cada família estudada individualmente e caracterizada pela média de aberturas após tratamento estatístico.

Quadro 10 – Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981).

Abertura (mm)	Descrição	
<0,1	Muito fechadas	Fechadas
0,1 – 0,25	Fechadas	
0,25 – 0,5	Parcialmente abertas	
0,5 – 2,5	Abertas	Entre-abertas
2,5 – 10	Medianamente abertas	
> 10	Abertas	
10 – 100	Muito abertas	Abertas
100 – 1000	Extremamente abertas	
> 1000	Cavernosas	

2.3.11. Enchimento

O preenchimento de uma descontinuidade pode definir-se como sendo uma camada de baixa resistência de material existente entre as paredes de uma descontinuidade. Em determinadas ocasiões as descontinuidades aparecem com enchimento de materiais brandos argilosos ou com material rochoso de natureza distinta das paredes da descontinuidade. As propriedades físicas e mecânicas do enchimento (como a resistência ao corte, a deformabilidade e a permeabilidade) podem ser muito variáveis, e controlam o comportamento da descontinuidade. A presença de enchimento governa o comportamento físico das descontinuidades, por esta razão devem ser registados todos os aspectos que possam ser relevantes para a compreensão do desempenho destes materiais na mecânica estrutural dos sistemas de descontinuidades.

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de enchimento a caracterização deve seguir a seguinte metodologia:

- A espessura do enchimento medida directamente com uma régua graduada;
- A descrição do enchimento inclui a identificação do material, descrição mineralógica e tamanho do grão;
- A resistência pode-se estimar mediante os índices de campo (estimativa aproximada e classificação da resistência à compressão simples dos solos e rochas a partir de índices de campo — ISRM, 1981);
- Deve indicar-se o grau de humidade, e estimar-se qualitativamente a permeabilidade do material de enchimento.

2.3.12. Estado de alteração

A alteração de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente (Aires-Barros, 1991).

A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha, é também um factor importante a considerar. Este aspecto pode ser determinado de uma maneira quantitativa, recorrendo à medição de parâmetros como a resistência da rocha, a velocidade de propagação de ultra-sons (e.g., ensaios geofísicos de refacção sísmica) ou outros. A ISRM (1981) propôs que os graus de alteração a considerar fossem constituídos por cinco termos, enquanto que a GSE (1995) considera seis termos. No entanto, considera-se em geotecnia (ISRM, 1981), frequentemente, a utilização de uma versão simplificada com três termos (Quadro 11).

Na versão simplificada, as três classes poderão ter as seguintes designações (ISRM, 1981):

- W1-2 – rocha sã a pouco alterada
- W3 – rocha medianamente alterada
- W4-5 – rocha muito alterada a decomposta

A evolução do grau de alteração do maciço rochoso realiza-se por observação directa do afloramento e comparação com os índices padrão recorrendo ao Quadro 11. No geral, dever-se-á fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa.

Quadro 11 – Evolução do grau de alteração do maciço rochoso (adaptado da ISRM, 1981).

Grau de alteração	Nomenclatura		Significado	
Sã ou não alterada	W₁	W₁₋₂	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.	- Sã e compacta
Ligeiramente alterada	W₂		Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração).	- Descontinuidades fechadas - Permeabilidade é praticamente nula
Moderadamente alterada	W₃	W₃	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original.	- Maciço mais ou menos sã - Intersectado por descontinuidades abertas
Muito alterada	W₄	W₄₋₅	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo; a rocha é muito friável.	- Zona alterada a muito alterada ou mesmo decomposta - Permeabilidade do tipo intersticial
Completamente alterada	W₅ *		Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado num solo residual.	- Pode coexistir uma circulação fissural

* por vezes, na bibliografia (ISRM, 1978; GSE, 1995) é referenciada o termo **W₆**, i.e., desagregação total do maciço podendo ser considerado como um autêntico solo residual.

2.3.13. Percolação

A percolação de água através das massas rochosas resulta sobretudo do fluxo de água pela rede de descontinuidades (permeabilidade secundária). No caso de certos maciços rochosos de natureza sedimentar a permeabilidade primária do material rocha pode ser significativa, dado que uma parte da percolação ocorre pelos vazios da rocha. A previsão da posição dos níveis freáticos, assim como dos caminhos de percolação e a pressão da água nos poros, dão-nos muitas vezes indicações da existência de potenciais problemas de estabilidade e de dificuldades construtivas. O levantamento geológico do maciço rochoso deve ser sempre precedido de recomendações relativas ao tipo de ensaios de permeabilidade que deve ser executado, de tal forma que os factores enunciados anteriormente sejam atendidos.

2.4. Zonamento geotécnico

Na sequência do reconhecimento geológico, dos resultados da campanha de prospecção "in situ" e do programa de ensaios de laboratório, pode-se, como se referiu anteriormente, zonar geotecnicamente o maciço rochoso interessado pela obra. Os vários níveis de uma mesma unidade geológica ou as várias unidades geológicas são agrupadas ou separadas em função das respectivas características geotécnicas e definem-se zonas homogeneamente semelhantes sob o ponto de vista geotécnico. A cada zona geotécnica correspondem características distintas de sustimento. Para zonas de fraca qualidade geotécnica, é necessário prever sustimentos mais robustos, o que envolve custos maiores do que para trechos de qualidade geotécnica mais fiável.

2.5. O Índice Geológico de Resistência (Geological Strength Index, GSI)

Dada a complexidade dos maciços rochosos, constituídos pela matriz rochosa e superfícies de descontinuidades que o compartimentam, a quantificação da sua resistência, pode ser estabelecida através de métodos empíricos (Hoek & Brown, 1980; Hoek et al., 2002; Hoek, 2007). No entanto, ensaios in situ e em laboratório devem sempre ser utilizados nesta quantificação. Deste modo, baseado em dados experimentais e através de bases teóricas de mecânica da fractura das rochas, Hoek & Brown (1980) estabeleceram, para rochas intactas, o designado critério de rotura de Hoek & Brown, traduzido pela seguinte expressão:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_i \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + 1 \right)^{1/2} \quad [8]$$

em que σ'_1 e σ'_3 são, respectivamente, as tensões principais efectivas máxima e mínima na rotura e m_i uma constante da rocha intacta. Assim, a relação entre as tensões principais na rotura para uma dada rocha é definida por dois parâmetros: a resistência à compressão simples σ_c e a constante m_i .

Sempre que possível, os valores destas constantes devem ser determinados através de uma análise estatística de resultados de uma série de ensaios triaxiais levados a cabo segundo as recomendações da ISRM (1981). Os valores do parâmetro m_i podem ser estimados a partir do Quadro 12 (Hoek, 1994).

Os mesmos autores apresentaram, também, um critério de resistência para os maciços rochosos, que resultou da generalização da expressão anterior, e cuja versão actual é dada por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad [9]$$

em que m_b é o valor reduzido do parâmetro m_i e s e a são parâmetros que dependem das características do maciço rochoso.

Para a determinação dos parâmetros constantes da equação, Hoek (1994) apresentou um sistema de classificação denominado por Índice Geológico de Resistência (Geological Strength Index, GSI) que fornece um parâmetro geotécnico que varia entre 0 e 100. Este sistema baseia-se no conceito de que a resistência de um maciço rochoso depende não só das propriedades da rocha intacta, mas também na liberdade que os blocos de rocha têm de escorregar ou rodar sob diferentes condições de tensão.

À excepção de maciços rochosos de muito má qualidade, o valor do GSI de um maciço pode ser estimado através do valor do RMR, utilizando um peso de 15 para a condição da presença da água e de 0 para a orientação das descontinuidades. Assim, para maciços com $RMR \geq 23$, a relação entre estes dois índices faz-se através da seguinte expressão tendo em consideração os pesos anteriormente referidos:

$$GSI = RMR - 5 \quad [10]$$

Quadro 12 – Estimativa dos valores de m_i (Hoek, 2007).

Tipo de rocha	Classe	Grupo	Textura			
			Grosseira	Média	Fina	Muito fina
Sedimentar	Clástica		Conglomerado (22)	Arenito 19	Siltito 9	Argilito 4
			Grauvaque (18)			
	Não-clástica	Orgânico	Cré (18) Carvão (8-21)			
		Carbonatado	Brecha (20)	Calcário compacto (10)	Calcário grosseiro 8	
		Químico		Gesso 16	Anidrite 13	
Metamórfica	Não foliada		Mármore 9	Corneana (19)	Quartzito 24	
	Levemente foliada		Migmatito (30)	Anfibolito 31	Milonito (6)	
	Foliada *		Gnaisse 33	Xisto (10)	Filito (10)	Ardósia 9
Ígnea	Clara		Granito 33		Riólito (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorito (30)		Dacito (17)	
			Diorito (28)		Andesito 19	
	Escura		Gabro 27	Dolerito (19)	Basalto (17)	
			Norito 22			
	Tipo piroclástica extrusiva		Aglomerado (20)	Brecha (18)	Tufo (15)	

Notas: i) Os valores entre parênteses são estimados; ii) Os valores assinalados com (*) são para amostras de rocha ensaiadas numa direcção normal à estratificação ou foliação; iii) Os valores de m_i serão significativamente diferentes se ocorrer rotura ao longo de superfícies de baixa resistência.

Para maciços rochosos de má qualidade com valores de RMR <23, a correlação é expressa com base em Q' , uma forma alterada do valor de Q :







$$GSI = \ln Q' + 44 \quad [11]$$

Onde,

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \quad [12]$$

Este parâmetro pode, em alternativa, ser determinado através da consulta da Figura 16. Deve ser considerado um intervalo para o valor de GSI em vez da consideração de um único valor.

Figura 16 – Determinação do valor do GSI segundo Hoek (2007), adaptado por Miranda (2003).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX - GSI (Índice Geológico de Resistência - maciços diadados) (Hoek e Marinos, 2000)		CARACTERÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DAS DESCONTINUIDADES									
A partir da litologia, da estrutura do maciço e das características das superfícies das descontinuidades, estimar o valor médio de GSI. Não se deve ser demasiado preciso (é mais realista referir um intervalo de GSI = 33-37, que afirmar que GSI = 35). É de referir que a tabela não tem validade para roturas determinadas pela estrutura do maciço. Quando ocorrem descontinuidades desfavoravelmente orientadas, estas determinam o comportamento da escavação. No caso de descontinuidades com preenchimento que se possam deteriorar com a presença de água, resultando na diminuição da resistência ao corte, sugere-se o uso de valores mais à direita. A acção da pressão da água é analisada em função de tensões efectivas.		MUITO BOAS Superfícies muito rugosas, sãs	BOAS Superfícies rugosas, ligeiramente alteradas, com oxidação	RAZOÁVEIS Superfícies suaves, moderadamente alteradas e desgastadas	FRACAS Superfícies estratificadas, fortemente alteradas, com preenchimentos arenosos	MUITO FRACAS Superfícies estratificadas, fortemente alteradas, com preenchimentos argilosos					
GEOESTRUTURA		QUALIDADE DECRESCENTE DAS SUPERFÍCIES									
	INTACTA OU MACIÇA - rocha intacta ou maciça com descontinuidades em pequena quantidade e muito afastadas.	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5
	COMPARTIMENTADO ("blocky") - maciço não perturbado, constituído por blocos cúbicos, bem travados entre si, definidos por 3 famílias de descontinuidades.										
	MUITO COMPARTIMENTADO ("very blocky") - maciço parcialmente perturbado, com blocos angulares multi-facetados, travados entre si, definidos por 4 ou mais famílias de descontinuidades.										
	COMPARTIMENTADO/TECTONIZADO ("blocky/disturbed") - dobrado e/ou com presença de falhas, com blocos angulares definidos por várias famílias de descontinuidades. Persistência de xistosidade ou planos de fraqueza.										
	DESINTEGRADO - maciço pouco interligado, fortemente partido, com mistura de fragmentos angulares e arredondados.										
	FOLIADO/LAMINADO - maciço foliado, dobrado e tectonizado. A estrutura do maciço é conferida pela presença de planos de xistosidade ou de corte pouco espaçados.	N/A	N/A								

Dado que em muitos casos recorre-se a programas geoinformáticos em que é expresso em termos dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, torna-se conveniente estimar a coesão e o ângulo de atrito interno equivalentes aos parâmetros estimados do critério de Hoek & Brown. Para isso, ajusta-se uma recta à curva gerada pela aplicação do critério de Hoek & Brown equilibrando as áreas acima e abaixo do critério de Mohr-Coulomb para uma gama de tensões expectável para uma dada obra subterrânea (Figura 17).

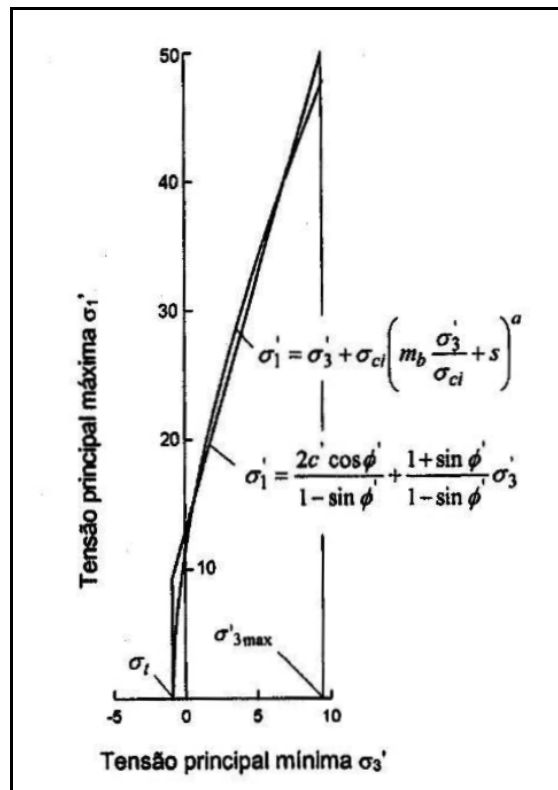


Figura 17 – Relações entre as tensões principais máximas e mínimas para os critérios de Hoek-Brown e equivalente de Mohr-Coulomb (Hoek et al., 2002).

3

ENSAIOS GEOMECÂNICOS: METODOLOGIAS E TÉCNICAS

3. GEOMECÂNICOS: METODOLOGIAS E TÉCNICAS

3.1. Generalidades

Nos estudos de engenharia geotécnica é importante descrever e caracterizar os maciços rochosos aflorantes e expostos, tendo como objectivo o conhecimento das propriedades e características geotécnicas das rochas do maciço. Estes trabalhos realizam-se durante as primeiras etapas da investigação “in situ”. Os trabalhos de campo permitem fazer a avaliação do comportamento geotécnico dos maciços rochosos, a planificação das fases de investigação mais avançadas e a interpretação dos resultados das mesmas.

A caracterização dos maciços torna-se uma tarefa complexa, devido à grande variedade de condicionantes e propriedades geológico-geotécnicas, especialmente se os materiais rochosos estiverem muito fracturados e/ou meteorizados. Em todas as descrições deve-se incluir todos os aspectos e parâmetros que possam ser observados, deduzidos e medidos em afloramento.

Como se referiu anteriormente, a sistemática para a descrição dos maciços rochosos pode-se resumir nas seguintes etapas (ISRM, 1987, 1981):

- Descrição das características gerais: geologia estrutural, tipo de discontinuidades, composição mineralógica e textural do material-rocha, grau de alteração;
- Divisão em zonas geotécnicas e descrição geral de cada zona: a divisão em zonas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios fundamentalmente litológicos e geológico-estruturais. O número de zonas que se estabelece e a extensão das mesmas dependerá do grau de heterogeneidade dos materiais e estruturas que formam o maciço rochoso. Dever-se-á descrever as características gerais de cada zona;
- Descrição pormenorizada de cada zona geotécnica: a descrição de cada zona é levada a cabo em separado e detalhadamente, o mais objectiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996);
- Descrição dos parâmetros geológicos e geométricos do maciço rochoso: a descrição dos parâmetros do maciço rochoso realiza-se a partir de dados recolhidos em cada estação geológico-geotécnica. Além disso, estabelecem-se parâmetros referentes ao número de famílias de discontinuidades, orientação e características representativas a cada uma delas, determinando sua importância relativa, tamanho e forma dos blocos, grau de alteração, etc.;
- Caracterização global e classificação geomecânica do maciço rochoso com o objectivo de definir a qualidade e resistência do maciço, através da quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos e modelação físico-matemática.

3.2. Técnicas “in situ”

3.2.1. Esclerómetro portátil ou *martelo Schmidt*

A resistência à compressão simples das rochas pode ainda ser correlacionada com a sua dureza. A dureza nas rochas é um conceito diferente daquele que é considerado nos minerais. Geralmente é associada com a chamada dureza de Schmidt que é determinada através do ensaio esclerométrico. Este valor pode ser correlacionado com a resistência à compressão simples da rocha constituinte da superfície ensaiada de acordo com o valor do seu peso volúmico. A norma Europeia padrão para ensaios (de betão) com o esclerómetro portátil (martelo de Schmidt) é a EN-12504-2. Complementam-se e seguem-se, em regra, as recomendações da ISRM (1978) e a ASTM (2001) para ensaios de resistência.

3.2.1.1. Considerações Iniciais

O esclerómetro portátil (Figura 18) foi desenvolvido em 1948, pelo Eng^o. Suíço Ernst Schmidt, como ensaio de natureza não destrutiva da dureza superficial do betão (Schmidt, 1951), e foi usado, mais tarde, quer para estimar a resistência da superfície do betão através de correlações empíricas quer para avaliar a resistência de material rochoso (Cargill & Shakoor, 1990).



Figura 18 – Exemplo do modelo do martelo patenteado pelo Eng. Ernst Schmidt. O fabricante suíço PROCEQ é a única empresa que tem o exclusivo no fabrico do *martelo de Schmidt* (www.proceq.com).

No que diz respeito à resistência, embora as características de deformabilidade do maciço sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o seu conhecimento da material-rocha, especialmente quando se trata de maciços rochosos de fraca qualidade

geomecânica. Este ensaio permite estimar de forma aproximada a resistência à compressão simples, sendo aplicado fundamentalmente à matriz rochosa e também às descontinuidades. A aplicabilidade deste ensaio é bastante elevada devido à sua simplicidade, não destrutibilidade, rapidez e fácil portabilidade (Figura 19).

A determinação da resistência à compressão uniaxial é determinada, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (e.g., ISRM, 1981, 1985; Katz et al., 2000; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002; Yassar & Erdogan, 2004; Aydin & Basu, 2005). A determinação do índice de resistência à carga pontual, recorrendo à determinação da dureza com o martelo de Schmidt, pode conduzir à estimativa do valor da resistência uniaxial.

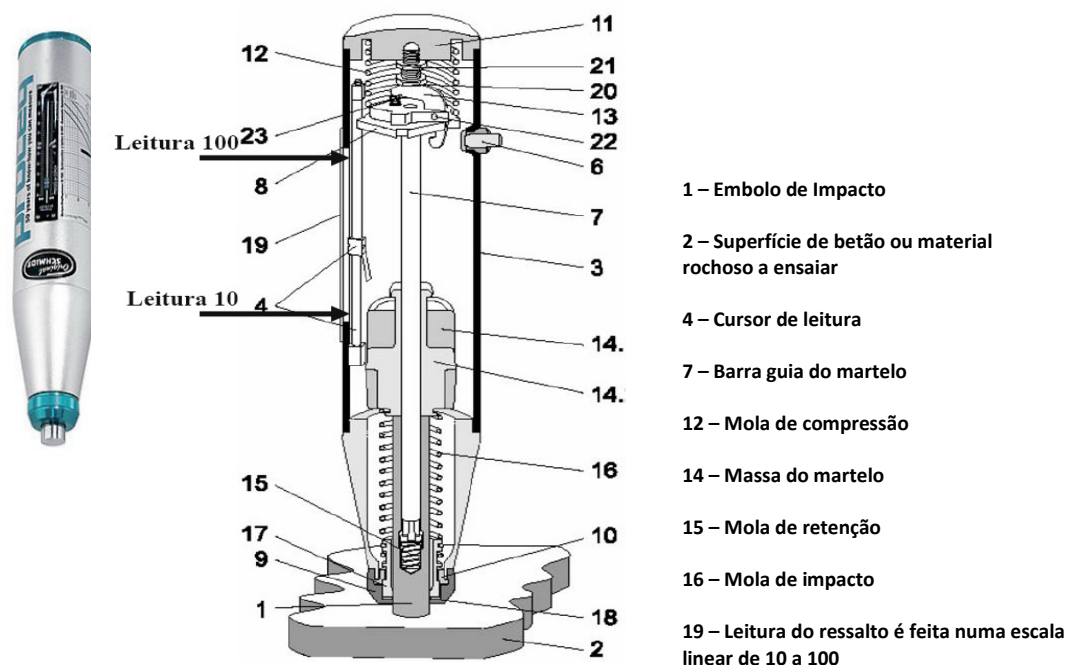


Figura 19 – O Martelo Schmidt ou Esclerómetro Portátil (www.proceq.com): suas partes principais.

3.2.1.2. Aplicação do esclerómetro portátil em mecânica das rochas/geologia aplicada

A metodologia do ensaio do martelo Schmidt foi criada para garantir aquisição de dados fiáveis e análise no próprio local (i.e., no campo) ou em laboratório. Alguns autores propuseram uma série de aplicações específicas para este equipamento. Entre estas aplicações estão incluídas a avaliação das descontinuidades das rochas (Hucka, 1965), a avaliação e o controlo dos tectos de minas (ISRM, 1987) e a resistência das paredes das descontinuidades (Hart & Wang, 1995).

O martelo de Schmidt foi projectado para níveis diferentes de energia de impacto, mas os modelos, geralmente, adoptados para a determinação das propriedades dos materiais rochosos são os modelos L e N. O tipo L, tem uma energia de impacto de 0.735 N/mm², sendo o martelo mais utilizado em estudos de maciços rochosos, em relação ao martelo do tipo N, tem uma energia de 10 a 70 N/mm² sendo mais utilizado em estudo de betões.

A determinação da resistência à compressão uniaxial, do maciço rochoso em estudo, pode ser realizada, como se referiu, com o auxílio do esclerómetro portátil ou martelo de Schmidt (Figura 20), que consiste num aparelho que permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto (“Rebound”) de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. Esta superfície deverá ser fresca e limpa, sem nenhum sinal de alteração e nem de fissuras.

Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado perpendicularmente à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto (R), seguidamente, o valor do ressalto é registado numa escala do aparelho (10-100). Os valores obtidos pelo Martelo Schmidt nas direcções não horizontais são influenciados pelas forças gravitacionais em diferentes graus. Por isso, os valores devem ser normalizados em relação à horizontal. A ISRM e a ASTM estipulam que o ressalto dos valores devem ser normalizadas, sempre que possível, utilizando as curvas de correcção fornecida pelo fabricante.

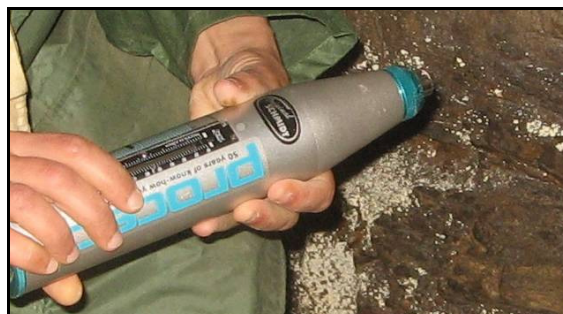


Figura 20 – Exemplo de aplicação do *martelo de Schmidt*, numa descontinuidade do maciço rochoso.

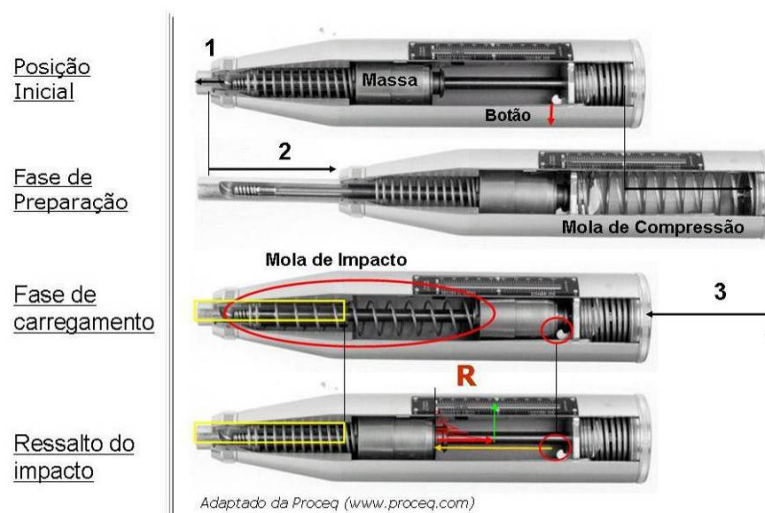


Figura 21 – Exemplificação da anatomia do martelo de Schmidt e as várias fases de preparação do martelo para a realização do ensaio.

A medição do ressalto correlaciona-se, geralmente, com a resistência do maciço, mediante o designado ábaco de Miller (Figura 22), que tem em conta a densidade da rocha (que no caso dos granitóides apresentam uma densidade média 26 kN/m³) e a orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada (i.e., perpendicular à superfície de ensaio, e normalizada para as orientações da superfície planar seja sub horizontal, 45º e sub vertical). O Quadro 13 representa a ficha de registo das medições efectuadas em cada estação geomecânica.

O valor estimado a partir do martelo de Schmidt deve ser obtido estatisticamente, de tal maneira que seja um valor representativo da resistência em causa. A ISRM (1981) recomenda, nos estudos de mecânica das rochas e de geologia de engenharia, a realização de 10 medições em cada superfície ensaiada, tomando como valor representativo a média dos 5 valores mais elevados.

Com o valor médio obtido e conhecida a densidade do material-rocha, recorre-se ao ábaco de Miller obtendo-se o valor da resistência à compressão uniaxial, σ_c , para o material ensaiado (Figura 22). A ISRM (1981, 1985) sistematiza, em termos de classificação, cinco termos de resistência à compressão (Quadro 14).

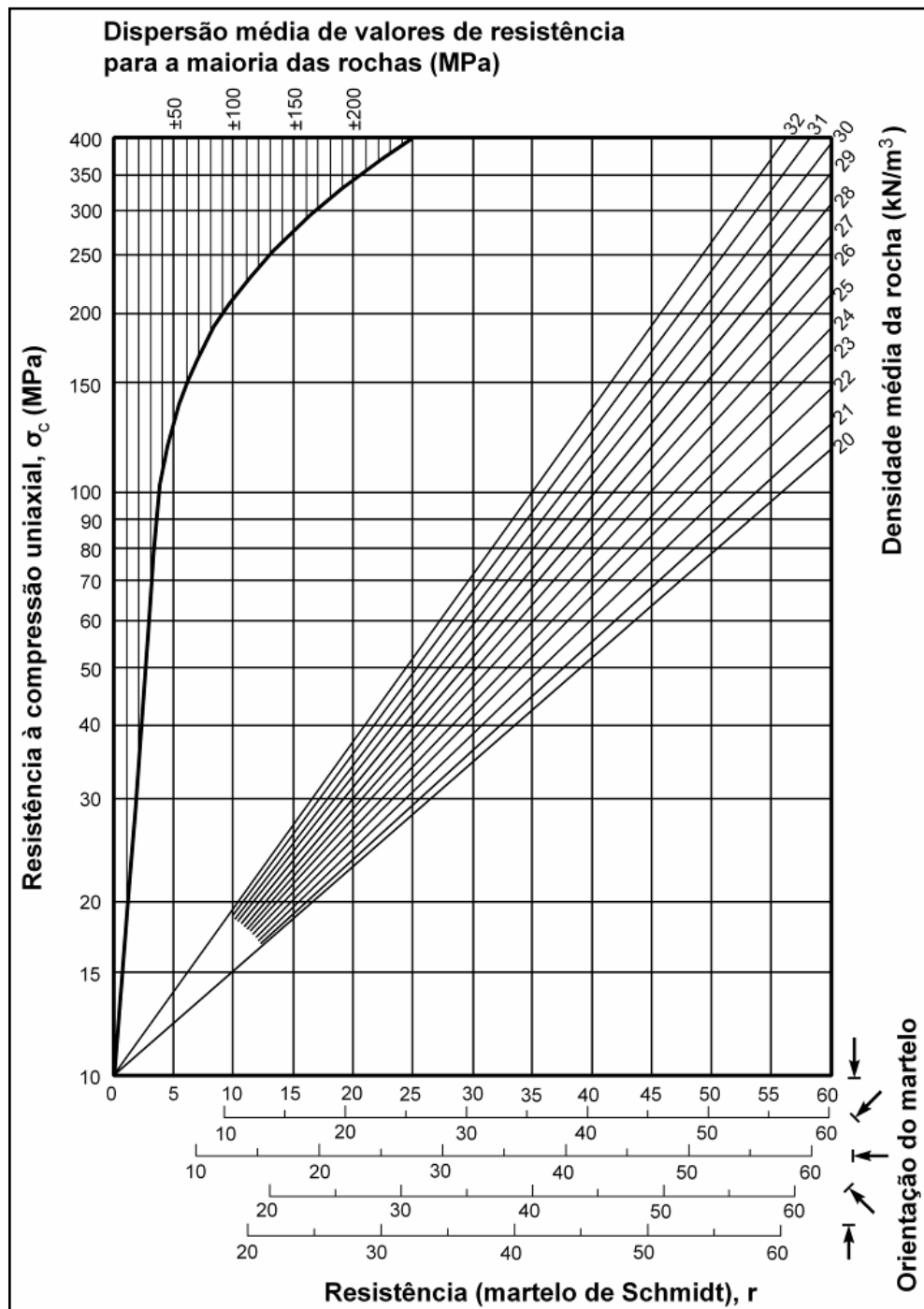


Figura 22 – Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do *martelo Schmidt* (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Quadro 14 – Classificação do maciço com base na resistência à compressão simples (ISRM, 1978, 1981).

Classificação	Resistência à Compressão Simples (MPa)	Designação	
S ₁	> 200	Muito elevada	S ₁₋₂
S ₂	60 a 200	Elevada	Elevada
S ₃	20 a 60	Média	S ₃ Média
S ₄	6 a 20	Baixa	S ₄₋₅
S ₅	<6	Muito baixa	Baixa

Verifica-se que é ainda possível, através de análises expeditas, realizadas com o recurso ao martelo de geólogo ou, por exemplo, recorrendo a uma faca, estimar os valores da resistência à compressão. Para tal, bastará recorrer à classificação proposta pela ISRM (Quadro 15), que em função do grau de qualidade da rocha, correlaciona a resistência à compressão simples e o índice de carga pontual, $IS_{(50)}$, com o comportamento do material pétreo face àquelas análises expeditas.

Quadro 15 – Função do grau de qualidade da rocha (R0 a R6) correlacionada com a resistência à compressão simples e o índice de carga pontual $IS_{(50)}$.

GRAU	DESIGNAÇÃO	σ_c (MPa)	$IS_{(50)}$ (MPa)	ANÁLISE EXPEDITA
R6	Extremamente elevada	> 250	>10	A rocha lasca depois de sucessivos golpes de martelo e ressoa quando batida
R5	Muito elevada	100 - 250	4 - 10	Requer muitos golpes de martelo para partir espécimes intactos de rocha
R4	Elevada	50 - 100	2 - 4	Pedaços pequenos de rocha seguros com a mão são partidos com um único golpe de martelo
R3	Mediana	25 - 60	1 - 2	Um golpe firme com o pico do martelo geólogo faz identações até 5 mm; com a faca consegue-se raspar a superfície
R2	Baixa	5 - 25	(*)	Com a faca é possível cortar o material, mas este é demasiado duro para lhe dar forma de provete para o ensaio triaxial
R1	Muito baixa	1 - 5	(*)	O material desagrega-se com golpe firme do pico de martelo de geólogo
R0	Extremamente baixa	0,25 - 1	(*)	Consegue -se marcar com a unha

(*) – Não são considerados minimamente fiáveis as correlações com a resistência à compressão simples.

3.3 O novo esclerómetro portátil *SilverSchmidt*, tipo L: o valor de ressalto Q

3.3.1 Considerações Iniciais

A medição clássica do ressalto (R), tal como está descrita nas normas EN 12504-2 e ASTM C805, não foi implementada na recente versão do esclerómetro portátil *SilverSchmidt* do fabricante *Proceq* (Fig. 23), uma vez que este mede a velocidade de ressalto em oposição à distância de ressalto. Isto cria, à partida, algumas vantagens para o utilizador.

O esclerómetro *SilverSchmidt* permite a conversão directa do novo valor de ressalto, designado por Q , na resistência à compressão. As curvas de conversão implementadas tanto no *SilverSchmidt* como na versão clássica do “martelo de Schmidt” da *Proceq* são curvas em que se utiliza o valor médio dos resultados obtidos. No caso do *SilverSchmidt*, deveremos utilizar as curvas de conversão pré-definidas baseadas num valor Q . Tanto a norma europeia EN 13791, como a norma americana ASTM C 805, recomendam a utilização de curvas de conversão definidas pelo utilizador tendo como base as amostras padrão no sentido de se determinar a resistência à compressão com martelos de ressalto.

A *Proceq* lançou recentemente no mercado um novo martelo de *Schmidt* com visor electrónico e interface mecânica em que o coeficiente de ressalto (denominado por valor Q) converte automaticamente o valor da resistência à compressão. Este martelo foi criado com o pressuposto de fornecer leituras rigorosas sobre praticamente qualquer superfície a partir de qualquer orientação, ou seja, sem a preocupação do sentido do impacto.



Figura 23 – Martelo *SilverSchmidt*, tipo L, da *Proceq* (equipamento do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, LABCARGA, do ISEP).

O equipamento *SilverSchmidt* é controlado pelo utilizador através de uma interface digital com recurso a um único botão e através de uma série de movimentos circulares poder-se-á operar o menu do martelo (Fig. 24). O *SilverSchmidt* permitirá, assim, ensaios não-destrutivos com uma melhor facilidade de operacionalidade e uma maior confiabilidade nos ensaios. O *SilverSchmidt* tem, ainda, uma série de funcionalidades relacionadas com funções estatísticas, de correcções de carbonatação, e de curvas de conversão para uma variedade de materiais em função do seu factor de forma. O *SilverSchmidt* cumpre a maioria das normas internacionais previstas para este tipo de equipamentos. Para garantir a compatibilidade com o padrão estabelecido o equipamento também apresenta o coeficiente de valor de ressalto *R*. Na descrição do equipamento seguiu-se de muito perto a documentação disponibilizada pela (adaptado segundo a Proceq, 2007).

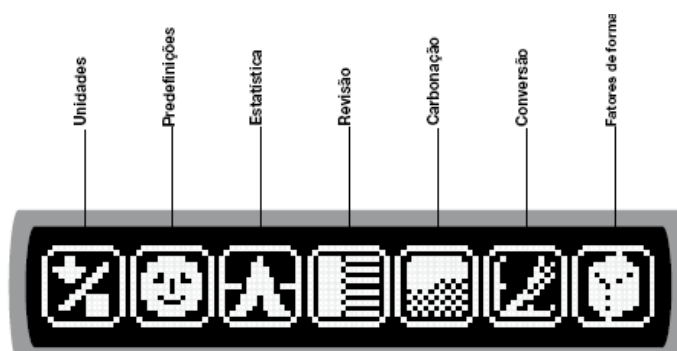


Figura 24 – Interface digital gráfica do Martelo *SilverSchmidt* (adaptado segundo a Proceq, 2007).

3.3.2 Descrição do equipamento SilverSchmidt

3.3.2.1 Esclerómetro portátil SilverSchmidt versus martelo clássico de Schmidt

O esclerómetro portátil *SilverSchmidt* destaca-se de imediato do martelo clássico de *Schmidt* por possuir um visor electrónico ao invés de uma escala mecânica. Este novo martelo também é conhecido pelo martelo digital. A medição das séries de ressalto pode ser convertida directamente no valor da resistência à compressão, tendo em consideração as configurações específicas do utilizador, tais como as curvas de conversão, as correcções para a carbonatação e o factor de forma.

De seguida apresenta-se uma série de expressões numéricas utilizadas para o cálculo do ressalto para os esclerómetros portáteis (adaptado segundo a Proceq, 2007). Contudo, na prática, existem diferenças significativas entre os valores de ressalto-*Q* e o ressalto-*R*.

Martelo Clássico Schmidt:

$$R = 100 \times \sqrt{\frac{E_{\text{reflectido}}}{E_{\text{antes do impacto}}}} = 100 \times \sqrt{\frac{\frac{1}{2} D x_R^2}{\frac{1}{2} D x_0^2}} = 100 \times \frac{x_R}{x_0} \quad [13]$$

Martelo SilverSchmidt:

$$Q = 100 \times \sqrt{\frac{E_{\text{reflectido}}}{E_{\text{antes do impacto}}}} = 100 \times \sqrt{\frac{\frac{1}{2} m v_R^2}{\frac{1}{2} m v_0^2}} = 100 \times \frac{v_R}{v_0} \quad [14]$$

R, Q: valores de ressalto

D: Contantes da mola

M: Massa do martelo

E_{antes do impacto}: Energia antes do impacto

E_{reflectido}: Energia a seguir ao impacto

X₀: Deslocação durante o impacto

X_R: Deslocação a seguir ao impacto (*Distância de ressalto*)

V₀: Velocidade imediatamente antes do impacto

V_R: Velocidade imediatamente após o impacto (*Velocidade de ressalto*)

Sistema de medição robusto: O valor de ressalto Q

O *SilverSchmidt* mede o verdadeiro coeficiente de ressalto, denominado valor de ressalto Q. Este representa o coeficiente de ressalto físico que pode ser expresso da seguinte forma:

$$Q = 100 \times \frac{Energia_{(antes, impacto)}}{Energia_{(após impacto)}} \quad [15]$$

O *SilverSchmidt* mede a velocidade de impacto e de ressalto, imediatamente antes e após o impacto, analisando a fracção de energia reflectida pela amostra a ensaiar. O valor de ressalto Q é completamente livre de fontes dos erros inerentes a martelos tradicionais para teste de superfícies, os quais medem o valor de ressalto R, que consiste no percurso mecânico feito pelo ressalto. O valor Q é, portanto, menos dependente do atrito sobre o pistão guia, da influência da gravidade durante o percurso do ponteiro de arraste e da velocidade relativa entre a unidade e a amostra. O valor Q, em relação à velocidade de impacto e de ressalto, é medido por meios ópticos. Isto torna redundante o uso do ponteiro de arraste, o qual é afectado pelo atrito.

A escala Q difere ligeiramente da escala R tradicional. No entanto, o *SilverSchmidt* tem uma conversão implementada que permite ao utilizador trabalhar com o valor R tradicional. O valor Q

permite uma extensa faixa de conversão, em ambas as extremidades da escala. Na extremidade superior, a função da dureza *versus* o valor R torna-se muito abrupta. O martelo mecânico tem dificuldades para diferenciar valores R acima de 60. Na extremidade inferior da escala, o atrito e a gravidade frequentemente tendem para o mesmo valor que a energia reflectida, em consequência os erros podem ser maiores.

Operação independente do ângulo

O valor Q não precisa de ser corrigido na direcção do impacto. Não há necessidade de referir-se às curvas de conversão da direcção do impacto, como é requerido em todos os demais martelos mecânicos para ensaio da superfície.

3.3.3 Componentes do SilverSchmidt

A figura 25 apresenta os componentes principais do martelo de *SilverSchmidt*.

Módulo electrónico completo



Compartimento



Módulo mecânico



Figura 25 – Principais componentes do martelo de *SilverSchmidt* (adaptado segundo a Proceq, 2007).

3.3.3.1 Modos de funcionamento do SilverSchmidt

O martelo de *SilverSchmidt* distingue, fundamentalmente, três modos de funcionamento (Fig. 26, 27): i) modo de impacto; ii) modo de instalação (“setup”); iii) modo de revisão.

Modo de Impacto: Utilizado para obter um único valor de ressalto ou uma série de valores de ressaltos consecutivos. Existem dois modos de impacto: i) Único Impacto; ii) Série de medições

Modo de Instalação (“Setup”): Utilizado para inserir configurações para converter uma série de valores de ressaltos consecutivos para resistência à compressão. Pode também ser utilizado para gravar as configurações actuais como pré-definições estabelecidas pelo utilizador.

Modo de Revisão: Utilizado para recuperar os últimos vinte resultados de um só impacto ou de uma série de medições.

A – Modos Operacionais

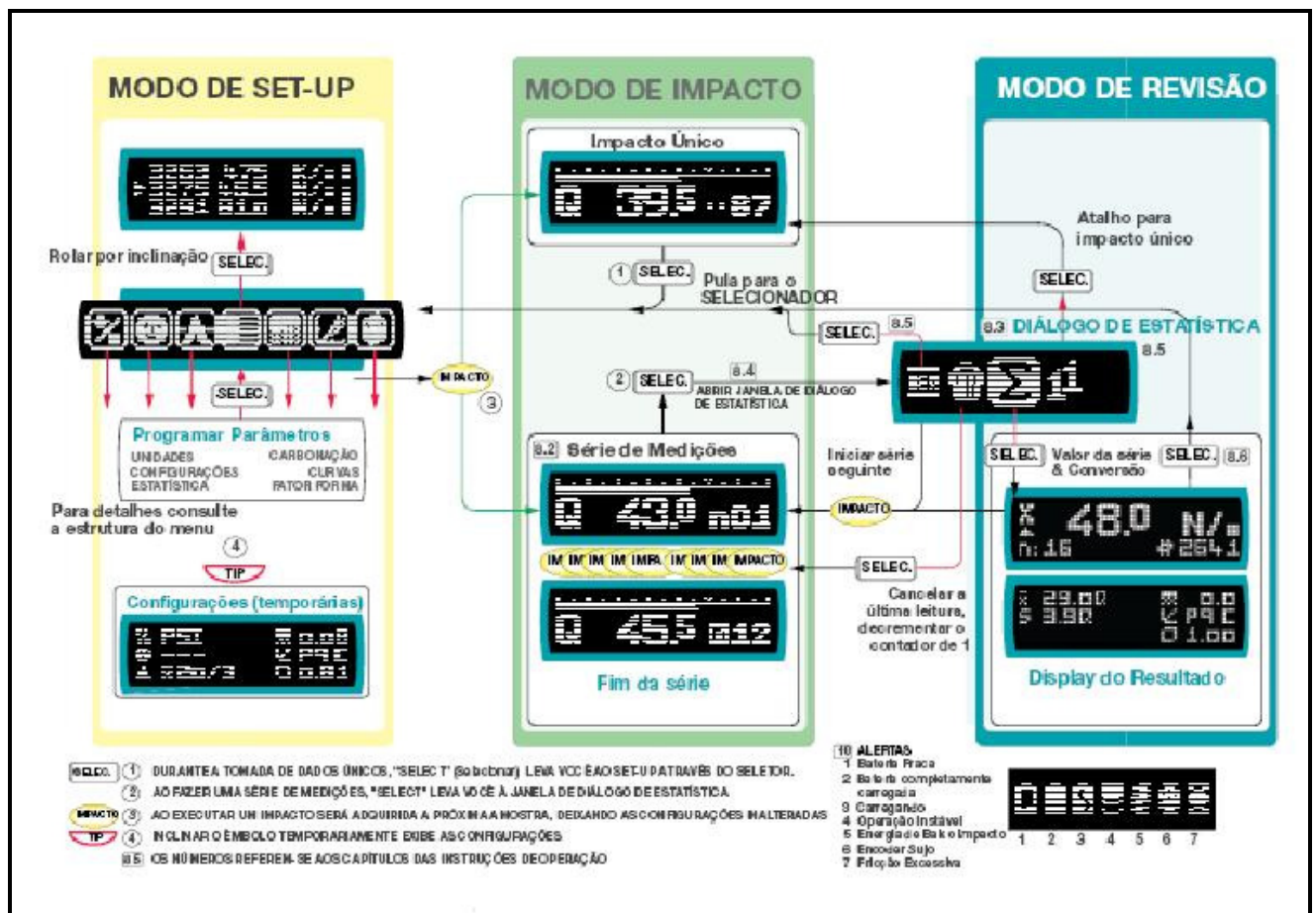


Figura 26 – Fluxograma do modo operacional (segundo a Proceq, 2007).

B – Estrutura do Menu

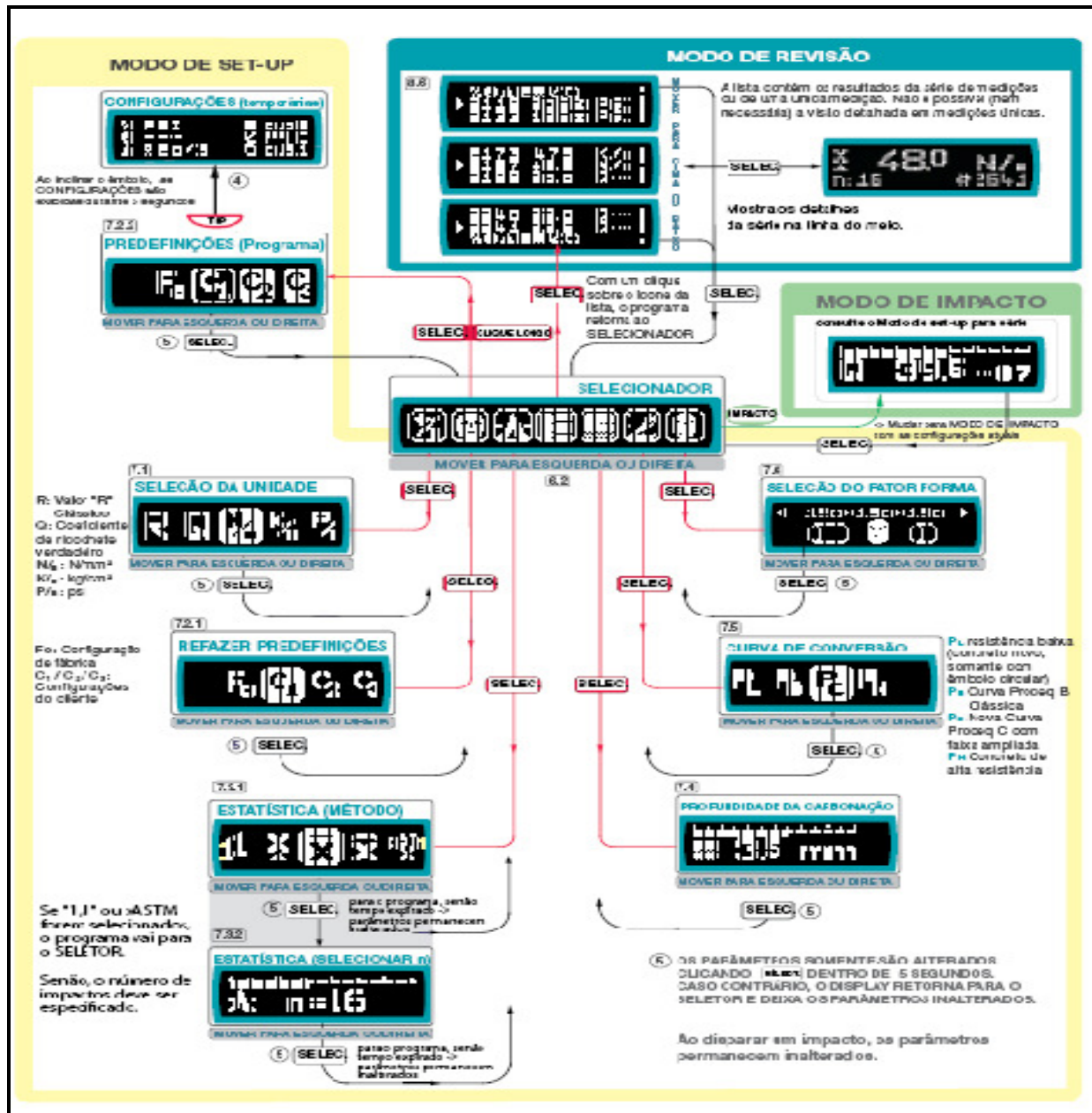


Figura 27 – Fluxograma da estrutura do menu (segundo a Proceq, 2007).

3.3.3.2 Curvas de Conversão

Curvas de Conversão para o Tipo L

O *SilverSchmidt* dos tipos L/LR (commumente utilizado em mecânica das rochas) é fornecido pelo fabricante Proceq com duas curvas de conversão.

- **Proceq B**

Curva clássica do *Original Schmidt* adaptada para o valor ressalto- Q . O Intervalo da resistência à compressão é: 18 a 70 N/mm² (2.600 a 10.200 psi). Esta curva foi estabelecida há mais de 50 anos e exibe valores algo conservadores. A Proceq recomenda o uso desta curva caso o utilizador não tenha certeza da mistura de betão.

- **Proceq C**

Intervalo da resistência à compressão: 8 a 110 N/mm² (1.160 a 16.000 psi). Esta curva é válida para betão com cimento Portland.

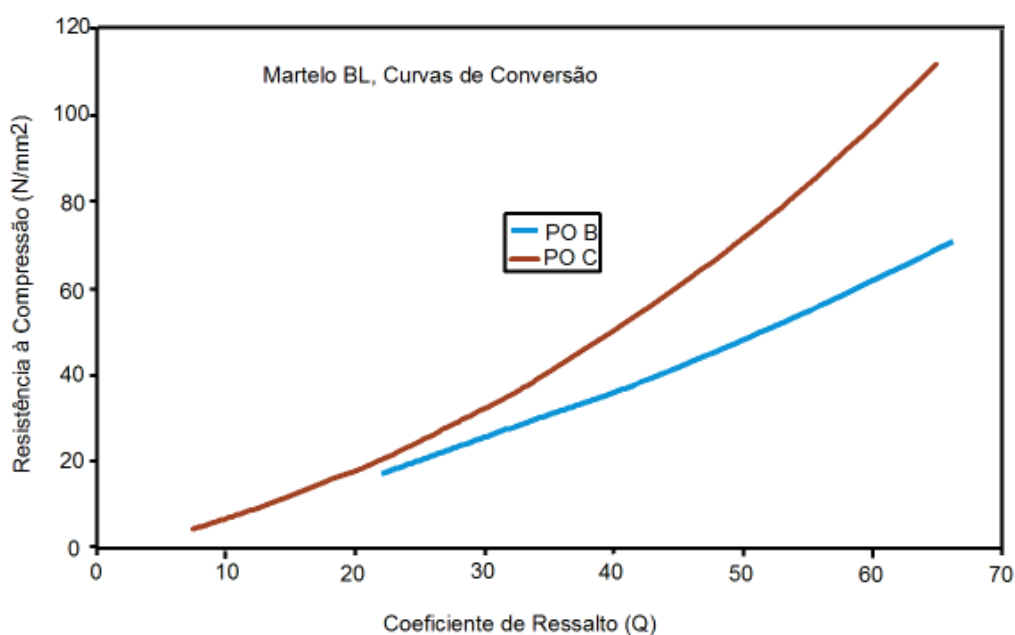


Figura 28 – Modelos L/LR (Proceq B): curvas de conversão em função da resistência à compressão média e do valor de ressalto Q (adaptado segundo a Proceq, 2007).

Conversão de valor Q para valor R

Há uma relação evidente entre o novo valor Q e o valor ressalto- R do martelo clássico de *Schmidt* e para os dois tipos de martelo N e L (Fig. 29).

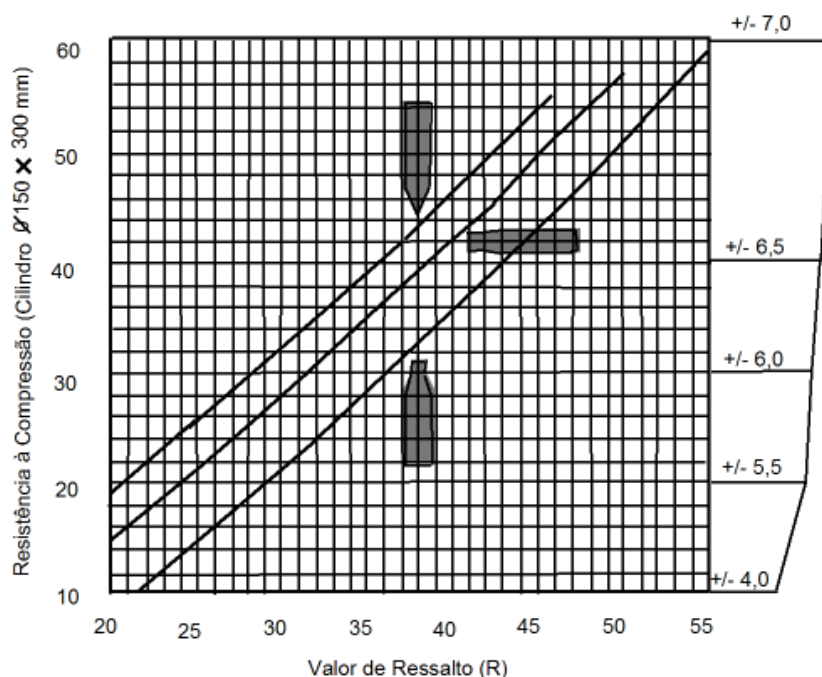


Figura 29 – Modelos L/LR: curvas de conversão em função do valor de ressalto-R e do valor de ressalto-Q (adaptado segundo a Proceq, 2007).

3.4 Técnicas laboratoriais

Ensaio de carga pontual (“Point Load Test”)

Generalidades

A determinação da resistência à compressão simples da rocha recorrendo a ensaios de compressão uniaxial é uma tarefa que requer especiais e morosos cuidados na preparação das amostras e condução dos ensaios. Em certos casos, o número de ensaios requeridos para determinar as propriedades dum vasto leque de tipos de rocha referentes a um projecto pode assumir um valor extremamente elevado. Existem outros casos em que a resistência à compressão simples e o comportamento tensão-deformação não necessita de ser estudado em detalhe, bastando o conhecimento aproximado do valor da resistência de pico. Nestas circunstâncias, haverá vantagem em recorrer a ensaios bastante mais simples e económicos que o ensaio de compressão uniaxial, desde que os resultados destes possam fornecer índices correlacionáveis com a resistência à compressão das rochas (ISRM, 1985).

Um método alternativo de aferir a resistência à compressão simples das rochas consiste na determinação do Índice de Resistência ou Índice de Carga Pontual através do designado Ensaio de Carga Pontual (“Point Load Test”).

O Ensaio de Carga Pontual foi concebido como um ensaio de referência para classificação da resistência das rochas, que pode ser estreitamente correlacionável com a resistência à compressão uniaxial e com outros índices de resistência. Este ensaio conduz, em termos genéricos, à determinação de dois índices, a saber: i) o Índice de Resistência à Carga Pontual, $I_{s(50)}$, e ii) o Índice de Anisotropia, $I_{a(50)}$, de carga pontual. Basicamente, este método consiste em levar à rotura as amostras de rocha através de uma carga concentrada entre duas ponteiros cónicas, quer sob a forma de blocos prismáticos, cilíndricos ou de forma irregular; em que a direcção de aplicação da carga pode ser axial ou diametral.

O equipamento do ensaio do PLT a utilizar (Figuras 30 e 31), quer em laboratório quer no campo, é constituído no seu essencial por um sistema de aplicação de carga sem interrupção, um sistema de medição da força (P) e um sistema de medição da distância (D), entre duas ponteiros, em regra, cónicas através do qual é aplicada a carga.

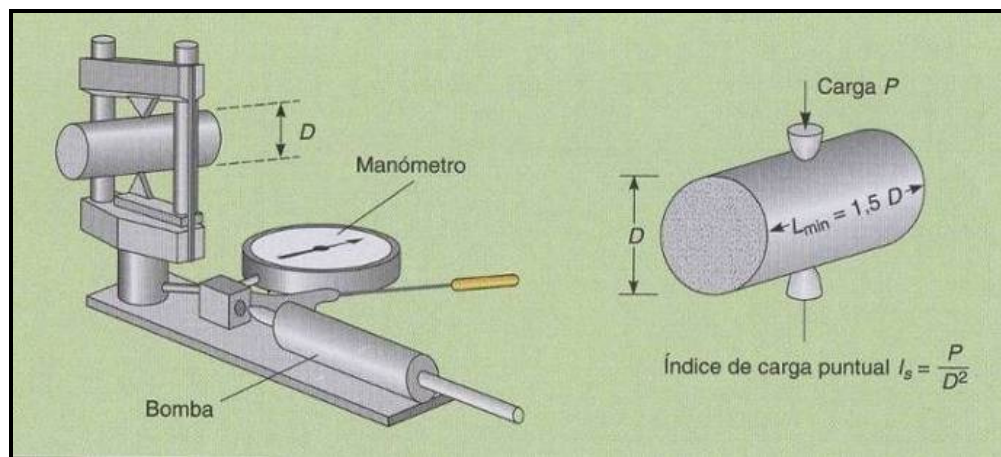


Figura 30 – Representação esquemática do equipamento para a execução do Ensaio de Carga Pontual – PLT (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

O sistema de carga deve ser tal que, permita romper os provetes de rocha com resistências na ordem dos 50 kN e também deverá permitir o ensaio de provetes de tamanho variável, que poderão ir desde os 15 aos 100 mm. A máquina de ensaio deverá ser concebida de modo que, as ponteiros cónicas que transmitem a carga aos provetes deverão ser indeformáveis e, assim, manter-se durante o ensaio devidamente alinhadas. Por isso, esta condição exige que a máquina de ensaio seja rígida. Tanto o sistema de medição de carga como o sistema de medição da distância entre ponteiros deverá ter uma precisão de $\pm 2\%$.

O sistema de medição da distância entra as ponteiros cónicas, permite a medição da distância D, através de uma leitura directa da escala. Independentemente do tamanho da amostra ensaiada, as medições de D devem ter, tal como referido, uma precisão de $\pm 2\%$. Para que a precisão de

leituras não seja prejudicada pelos respectivos ensaios, o sistema terá de ser, suficientemente, resistente aos choques e vibrações hidráulicas.



Figura 31 – Equipamento para a execução do Ensaio de Carga Pontual, PLT (as fotos referem-se ao equipamento do PLT do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção, LGMC, do ISEP).

O sistema de medição deverá permitir uma verificação do "zero deslocamento", quando as duas ponteiras estão em contacto. É necessário um instrumento calibrador (craveira) ou uma régua de aço, para medir a largura W de todas as amostras a ensaiar.

O equipamento de ensaio deve ser calibrado periodicamente por meio de um certificado, independentemente da carga celular, e por um conjunto de *blocos de deslocamento* (P e D), bem como a realização de leituras ao longo de toda a gama de cargas e medição dos deslocamentos pertinentes dos ensaios. O ensaio tem um procedimento recomendado pela "*International Society for Rock Mechanics*" (ISRM, 1985) e consiste em provocar a rotura de amostras de rochas, obtidas a partir de testemunhos de sondagens com diâmetros variando entre 25 e 100 mm, aplicando uma força pontual crescente. A amostra de rocha é comprimida entre duas ponteiras cónicas de metal duro, que provocam a rotura por desenvolvimento de fissuras de tracção paralelas ao eixo da carga, sendo registado o valor da carga P (ou F) que provoca a rotura (Figura 31).

O quadro 16 apresenta um exemplo de uma ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual, a qual foi elaborada propositadamente para este trabalho.

Quadro 16 – Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (inspirada na proposta da ISRM, 1985, 2007).

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)														
Local: _____										Ficha nº: _____				
Zonamento: _____										Data: ____/____/____				
Litologia: _____														
Técnica de ensaio: _____														
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			A (mm²)	De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) I (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)									

Nota explicativa:

- amostra nº
- Orientação
- De
- P
- F
- Is
- Is (50)
- Ia (50)

- número de ensaios
- perpendicular à xistosidade (⊥) ou paralelo à xistosidade (//)
- diâmetro equivalente da amostra (mm)
- carga de rotura (kN)
- factor de correcção obtido
- índice de resistência à carga pontual
- valor corrigido
- índice de anisotropia

Fórmulas:

$$Is = \frac{P}{De^2}$$

$$Is_{(50)} = F \times Is$$

$$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$$

$$F = \left(\frac{De^{(50)}}{50} \right)^{0.45} = \sqrt[0.45]{\frac{De}{50}}$$

Procedimento do ensaio

Consoante as características dos provetes, o eixo escolhido para a aplicação da força, o tipo de rocha a ensaiar e a maior ou menor anisotropia evidenciada pela rocha, define-se o tipo de ensaio a efectuar. De um modo abreviado podemos distinguir três tipos de ensaios (ISRM, 1985, 2007):

I) Ensaio diametral

Este tipo de ensaio é realizado sobre provetes cilíndricos (Figura 32) na qual a relação comprimento/diâmetro é superior a 1 (um). O provete deve ser colocado na máquina de ensaio para que a distância entre os pontos de contacto das ponteiras cónicas e a extremidade livre mais próxima seja pelo menos 0,5 vezes o diâmetro do provete. Anota-se o valor da distância entre ponteiras D e o valor da carga de rotura P. Os ensaios cuja superfície de rotura não passe pelos dois pontos de contacto das ponteiras cónicas devem ser rejeitados. Deve-se, por fim, realizar pelo menos 10 (dez) ensaios por amostragem em rochas homogéneas e mais de 10 (dez) ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogéneas.

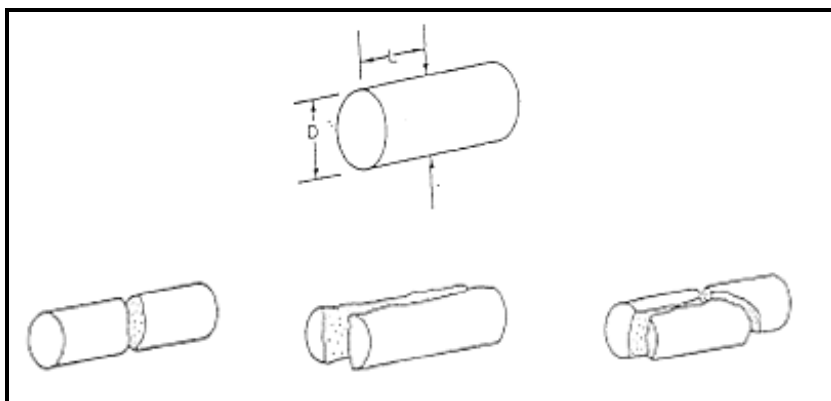


Figura 32 – Ensaio diametral, $L > 0,5 D$ e ensaios considerados válidos (adaptado da ISRM, 1985).

II) Ensaio axial

No ensaio axial (Figura 33) também são usados provetes cilíndricos cuja relação comprimento/diâmetro varia entre 0,3 e 1. Os provetes compridos podem ser ensaiados diametralmente de forma a produzirem novos provetes com dimensões adequadas para serem ensaiados axialmente. O provete é colocado na máquina de ensaio, de modo a que o eixo de ensaio coincida com o eixo perpendicular às faces planas da amostra. No caso de amostras rochas isotrópicas, o eixo de ensaio coincide com o eixo do cilindro e no caso de amostras anisotrópicas, é perpendicular aos planos de descontinuidade. Deve-se realizar pelo menos 10 (dez) ensaios por amostragem em rochas homogêneas e mais de dez ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas. Regista-se o valor da distância entre ponteiros D , a largura do provete W perpendicular à direcção de carga (com uma precisão de $\pm 5 \%$) e o valor da carga P .

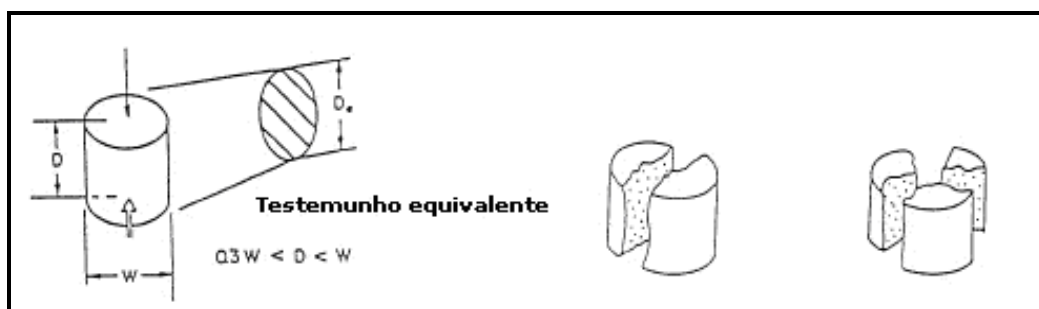


Figura 33 – Ensaio axial considerados válido (adaptado da ISRM, 1985).

III) Ensaio em blocos e em fragmentos irregulares

Nestes ensaios (Figura 34), são utilizados provetes com formas irregulares desde que a relação entre a distância das ponteiros cónicas e largura do provete varie entre 0,3 a 1, de preferência, um valor próximo da unidade. A carga deve ser aplicada a uma distância superior a 0,5 vezes a largura do provete.

O provete é colocado na máquina de ensaio, devidamente centrado e anotam-se a distância entre ponteiros D, a menor dimensão do provete W, perpendicular ao eixo de ensaio e a carga de rotura P.

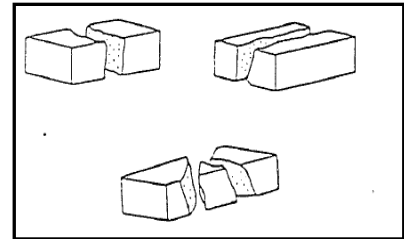
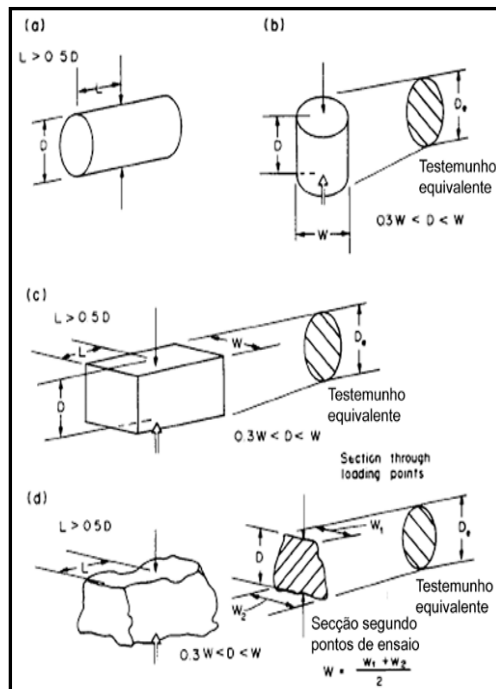


Figura 34 – Relação de dimensões dos provetes (rocha irregular) a satisfazer nos ensaios de carga pontual e ensaios considerados válidos ((ISRM, 1985, 2007):adaptado da ISRM, 1985, 2007).

No caso dos lados do provete não serem paralelos, a dimensão perpendicular ao eixo do ensaio terá de ser calculado através da seguinte expressão:

$$W = (W_1 + W_2) / 2 \quad [16]$$

Se a superfície de rotura passa apenas por um ponto de carga, o ensaio deve ser rejeitado. Deve-se realizar pelo menos dez ensaios por amostragem em rochas homogêneas e mais de dez ensaios em rochas anisotrópicas ou heterogêneas.

Na Figura 35 estão representadas vários tipos de roturas para ensaios válidos e não válidos.

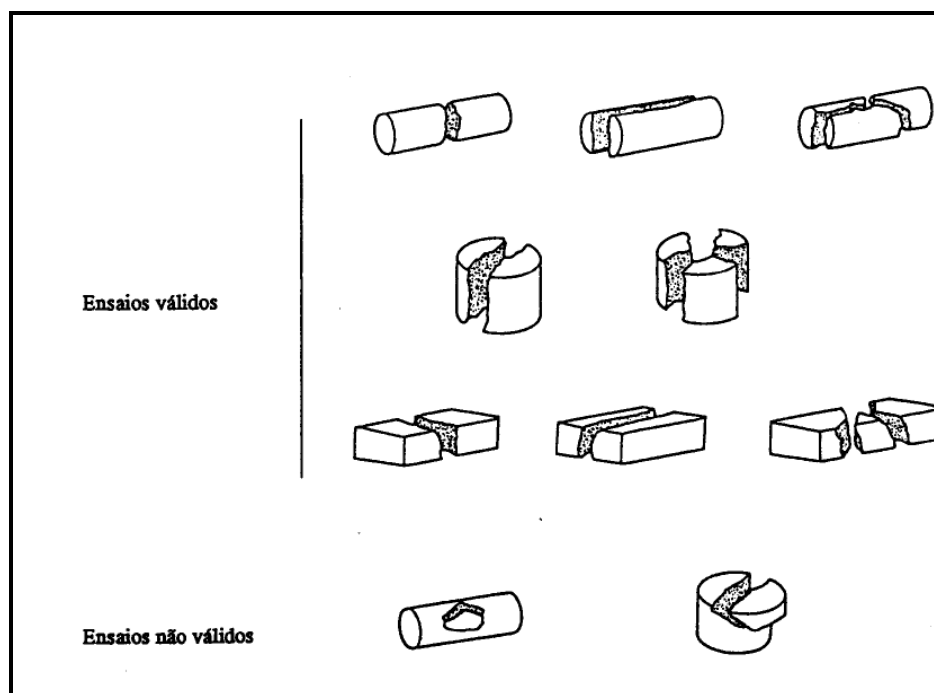


Figura 35 – Roturas típicas para ensaios válidos e inválidos (ISRM, 1985, 2007). (a) Ensaios segundo o diâmetro, válido; (b) Ensaio segundo o eixo, válido; (c) Ensaios de blocos, válidos; (d) Ensaio inválido; (e) Ensaio axial inválido.

Índice de Carga Pontual

Como padrão, o índice de carga pontual é definido para o ensaio realizado sobre provetes cilíndricos de rocha com diâmetro D igual a 50 mm, em que a aplicação da carga P é feita na direcção diametral, sendo calculado pela expressão:

$$I_{s(50)} = \frac{P}{D^2} \quad [17]$$

onde:

P = é a carga de rotura

D = é a distância entre ponteiros cónica

O índice da resistência à carga pontual I_s deverá ser corrigido para $I_{s(50)}$, ou seja, para o valor correspondente a $D=50$ mm, o qual também se poderá obter através do gráfico da Figura 34. O cálculo do valor médio de $I_{s(50)}$ deverá ter em conta o seu índice de resistência pontual e o de anisotropia (I_a). O valor médio de $I_{s(50)}$ deverá ser calculado retirando os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos, fazendo-se a média dos restantes valores.

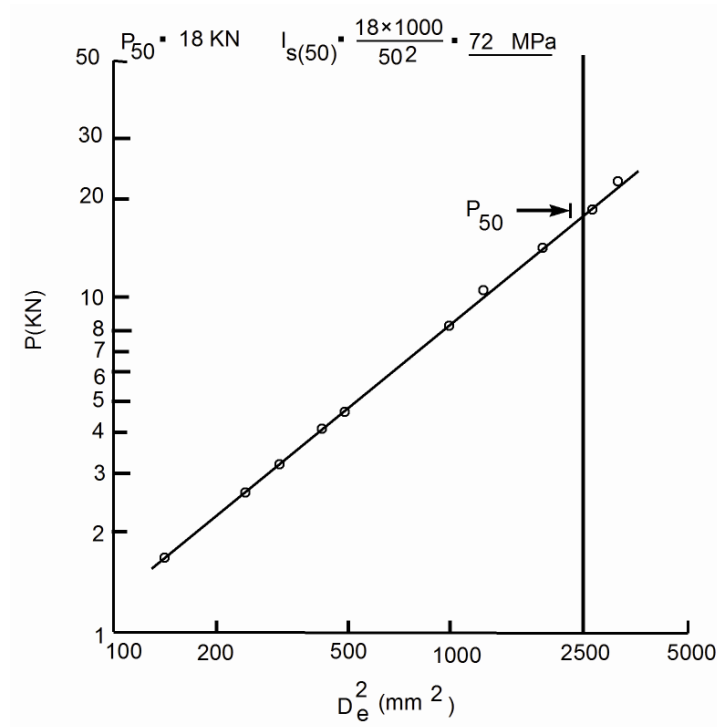


Figura 36 – Gráfico para cálculo de $I_{s(50)}$, segundo a ISRM (1985).

Para ensaios idênticos realizados sobre provetes cilíndricos com outros diâmetros, a relação P/D^2 deverá ser multiplicada por um factor correctivo F a fim de se obter o *índice de carga pontual normalizado*:

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D^2} \quad [18]$$

$$F = \left(\frac{D}{50} \right)^{0,45} \quad [19]$$

No ensaio de carga pontual podem ainda ser testados não só provetes cilíndricos comprimidos diametralmente, mas também axialmente, e ainda provetes com outras formas, regulares ou irregulares, desde que obedeçam aos critérios indicados na Figura 33. Para estes casos será necessário definir um diâmetro equivalente D_e correspondente a uma secção circular com área igual à da secção transversal do provete ensaiado sendo o índice de carga pontual normalizado calculado a partir desse valor:

$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad [20]$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot WD} \quad [21]$$

Em rochas com anisotropia conferida pela xistosidade, foliação gnáissica ou estratificação, a realização do ensaio de carga pontual deverá ter em atenção a orientação de tais descontinuidades tectonometamórficas.

Nestes casos é usual a determinação dos índices de carga pontual quer na direcção da normal, quer na direcção paralela a esses planos, sendo então possível definir um índice de anisotropia, I_a , dado pela relação entre aqueles índices, a saber:

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)\perp}}{I_{s(50)\parallel}} \quad [22]$$

De salientar que no caso das rochas anisotrópicas, o parâmetro α que relaciona a resistência à compressão simples com o índice de carga pontual assume uma variabilidade maior que no caso das rochas com comportamento isotrópico, reforçando-se neste caso, quando o estudo o justifique, a necessidade de realizar alguns ensaios de compressão uniaxial que permitam estabelecer correlações mais fidedignas com os valores obtidos nos ensaios de carga pontual.

O índice de anisotropia $I_{a(50)}$ é calculado determinando-se a razão entre as medianas dos índices calculados para tensões normais e paralelas aos planos de descontinuidade. O $I_{a(50)}$ toma valores próximos de 1 (um) para rochas teoricamente isotrópicas e valores mais elevados quando a rocha é anisotrópica. O $I_{s(50)}$ deverá ser utilizado directamente na classificação das rochas, enquanto que as correlações com a resistência à compressão uniaxial são apenas aproximações (Fig. 37). A resistência à compressão uniaxial é cerca de 20 a 25 vezes a resistência à carga pontual.

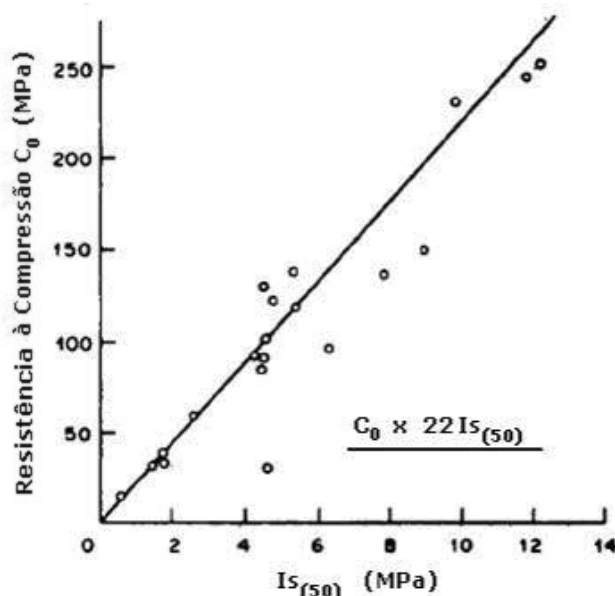


Figura 37 – Gráfico para a correlação entre a resistência à carga pontual e a resistência à compressão, segundo a ISRM (1985).

3.5 Determinação da resistência à flexão sob carga centrada

Generalidades

O ensaio para determinação de resistência à flexão foi adoptado com o objectivo de ser aplicado em materiais frágeis para determinar a tensão de rotura da rocha por aplicação de uma carga, para além de permitir avaliar outras propriedades mecânicas, nomeadamente o módulo de elasticidade. Este parâmetro quantifica a resistência mecânica à flexão de uma dada amostra de rocha, (segundo Pinto et al., 2006).

A grande vantagem deste ensaio laboratorial é de permitir utilizar provetes mais fáceis de manobrar do que os provetes utilizados no ensaio de tracção, tendo mais aplicação quanto mais duro for o material. No entanto, para materiais muito frágeis, os resultados obtidos apresentam grande dispersão, de modo que, nestes casos devem realizar-se sempre vários ensaios para se estabelecer um valor médio.

A técnica do ensaio consiste, basicamente, em apoiar e centrar o provete entre dois pontos distanciados de um comprimento (l) e aplicar, lentamente, uma carga (F) no centro deste (Fig. 38). O provete pode ter qualquer secção; contudo as secções circulares ou rectangulares são as mais utilizadas. O dimensionamento dos provetes encontra-se especificado na norma EN 12372. Deste ensaio pode ainda retirar-se o módulo de rotura (**M_r**), representando o valor máximo da tensão de tracção ou compressão nas extremidades do provete (ISRM, 2007).

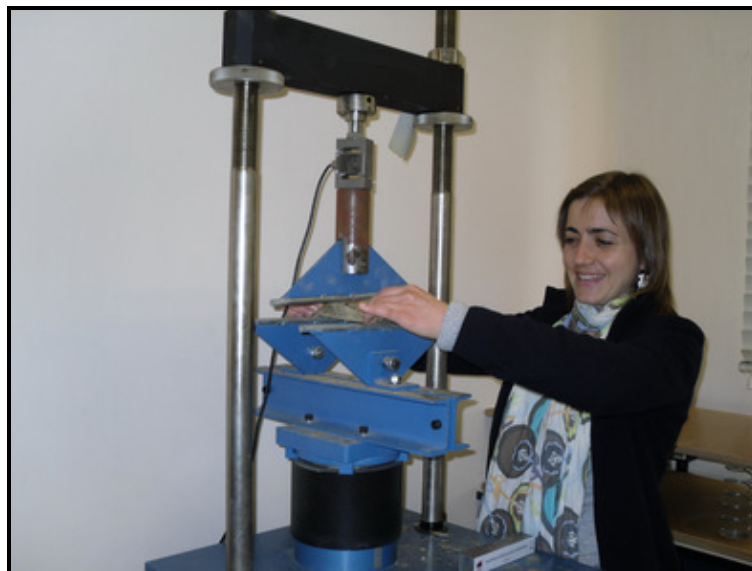


Figura 38 – Equipamento para a execução do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada. Notar o pormenor do provete sob os cutelos de apoio (a foto refere-se ao equipamento do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção, LGMC, do ISEP).

Os resultados dos ensaios de determinação da resistência à flexão são afectados, sobretudo em materiais frágeis, por diversos factores como a velocidade de aplicação da força de ensaio, o comprimento do vão entre apoios e as dimensões da secção transversal do provete. Em provetes com a mesma secção e dimensão, quanto menor for a distância entre apoios, mais elevado é o módulo de rotura obtido. Finalmente, do mesmo modo que na tracção e na compressão, quanto maior for a velocidade de aplicação da força, mais elevada é a resistência à flexão.

Resumindo, a resistência à flexão é um parâmetro importante na qualificação da aptidão da rocha. É importante referir que se uma rocha está sujeita a uma solicitação de flexão, noutros pontos ficará sujeita a um esforço de tracção e, sob esse aspecto, o material rocha resiste mal aos esforços de tracção. O ensaio de resistência à flexão sob carga centrada é commumente utilizado em estudos de caracterização de rocha ornamental tendo para o efeito sido criada a norma de referência EN 12372 (Pinto et al., 2006). Todavia, os mesmos ensaios, com ligeiras adaptações à norma anterior, são por vezes usados para estudos de mecânica das rochas (ISRM, 2007).

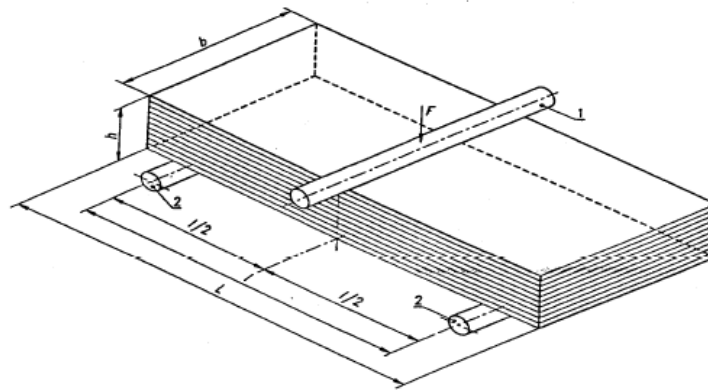
O quadro 17 apresenta uma ficha de registo dos valores do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada (adaptada da norma EN 12372).

Quadro 17 – Ficha de registo dos valores do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada (adaptada da norma EN 12372).

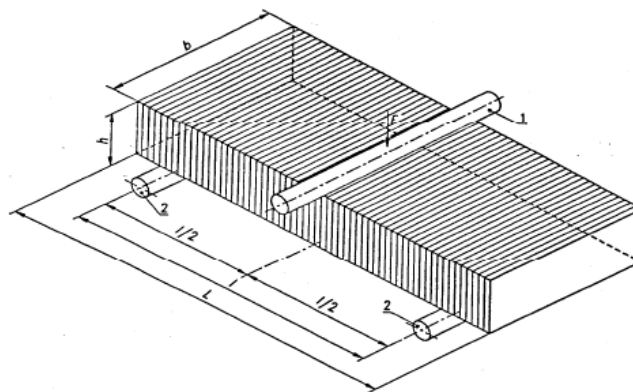
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)																
Local:																
Zonamento:																
Litologia:																
Tipo ensaio:																
Orientação do ensaio:																
Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rtf (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logarítmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	Ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
Resistência Mecânica à Flexão Σ:																
<p>Nota explicativa:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 25%;"> <p>amostra nº - número de ensaios</p> <p>Orientação - perpendicular à xistoidade(L)</p> <p>L - comprimen total do provete, em (mm)</p> <p>b - largura do provete, em (mm)</p> <p>h - espessura do provete, em (mm)</p> <p>l - vão entre apoios de suporte, em (mm)</p> <p>F - carga de rotura, em (kN)</p> <p>Rtf - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)</p> <p>n - número de valores medidos</p> <p>Valores medidos - x1, x2,...,xi,...,xn</p> <p>Números de valores medidos n</p> <p>valor máximo Max</p> <p>valor mínimo Min</p> <p>Factor quantil ks</p> </div> <div style="width: 25%;"> <p>Fórmulas:</p> $Rt f = \frac{3 F l}{2 b h}$ <p>Desvio padrão</p> $s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ <p>Números de ensaios realizados :</p> <p>Números de ensaios inválidos :</p> </div> <div style="width: 25%;"> <p>Coefficiente de variação</p> $\nu = \frac{s}{\bar{x}}$ <p>Média logarítmica</p> $\overline{x}_{ln} = \frac{1}{n} \sum \ln x_i$ </div> <div style="width: 25%;"> <p>valor médio</p> $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$ <p>valor mínimo esperado</p> $E = e^{\overline{x_{ln}} - k_s * s_{ln}}$ </div> <div style="width: 25%;"> <p>Desvio padrão logarítmico</p> $s_{ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \overline{x_{ln}})^2}{n - 1}}$ </div> </div>																

Dimensão e preparação dos provetes a ensaiar

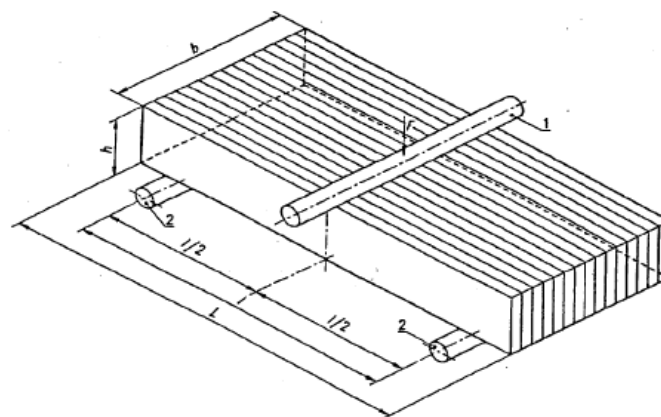
- Este ensaio é realizado em pelo menos 10 (dez) provetes, tão homogéneos quanto possível e representativos de cada zona de amostragem. Devem ser registadas, se aplicável, as direcções dos principais planos de anisotropia (*e.g.*, xistosidade, estratificação, etc.);
- Os provetes podem ser cortados paralelamente a qualquer plano de anisotropia, os quais devem ser devidamente assinalados por uma linha dupla;
- Os provetes devem ser de secção rectangular e simplesmente serrados, amaciados ou polidos, cujas restantes dimensões vão ser determinadas pela sua espessura (h), em mm;
- A espessura deve estar compreendida entre 25 mm e 100 mm e deve ser duas vezes superior ao maior grão na rocha;
- O comprimento total da amostra (L) deve ser igual a seis vezes a espessura ou seja $L = 6h$, e a largura mínima deve ser superior ou igual a 50 mm e inferior ou igual a 3 vezes a espessura ($50 \text{ mm} \leq b \leq 3h$), e em caso algum deve ser inferior à espessura;
- Como referência padrão o acabamento superficial das faces dos provetes pode ser serradas, amaciadas ou polidas (teste de identificação). No caso de necessidade de testar provetes com outro tipo de acabamento superficial (flamejado, areado, etc.), de acordo com a aplicação em obra, devem ser feitos testes tecnológicos;
- Para testes tecnológicos os provetes devem ser produtos finais ou serrados a partir deles. A face que irá ser usada em obra deve ficar em contacto com os dois roletes de suporte;
- O eixo dos provetes deve ser perpendicular ao plano principal de anisotropia da rocha, se perceptível (Figura 38 a). Se for necessário executar um ensaio com a orientação da carga paralelamente ou perpendicularmente a qualquer um desses planos de anisotropia, deve-se preparar outro conjunto de provetes com as mesmas características dimensionais (Figura 39 b, 39 c).



(a)



(b)



(c)

Figura 39 – (a) Força perpendicular ao plano principal de anisotropia; (b) Força paralela ao plano principal de anisotropia; (c) Força perpendicular ao topo do plano principal de anisotropia (imagens retiradas da norma EN 12372; versão de Dezembro 2006).

Planos de anisotropia

Ensaio de identificação

Se a amostra possui planos de anisotropia (estratificação, xistosidade, ou outra foliação), os provetes devem ser preparados de acordo com, pelo menos, um dos esquemas apresentados na Figura 39 a), c) e a direcção dos planos de anisotropia deve ser assinalada em cada um dos provetes através de, pelo menos, duas linhas paralelas.

Se for conhecida a posição de utilização do material-rocha relativamente aos planos de anisotropia, o ensaio deve ser executado aplicando a força na face que será solicitada por cargas após aplicação. Se não for conhecida a posição de utilização do material-rocha relativamente aos planos de anisotropia, mas estes estiverem referenciados (através das duas linhas paralelas), o ensaio deve ser executado de acordo com os três esquemas apresentado na Figura 39. Neste caso, o número total de provetes a ensaiar será, então, de 3 vezes 6.

Ensaio tecnológico

Os provetes devem ser ensaiados apenas segundo a orientação relevante do produto, ou seja, aplicando a força na face que será solicitada por cargas após aplicações.

Procedimento do ensaio

- Os provetes são secos à temperatura de $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa constante. Esta massa é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas realizadas num intervalo de 24 horas (± 2 h) não for superior a 0,1% da primeira das duas massas.
- Após secagem dos provetes a massa constante à temperatura de $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, os mesmos são mantidos num exsiccador até à temperatura ambiente de $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Em seguida determinam-se as medidas de cada um dos provetes.
- Limpam-se os roletes de apoio da máquina de ensaio. Também dever-se-á limpar e remover qualquer partícula solta das superfícies de carga dos provetes.
- Colocam-se os provetes devidamente centrados, sobre os roletes de apoio da máquina de ensaio de flexão (Figura 40) e procede-se, em seguida, à sua carga, na face contrária à

apoiada (face não-polida e simplesmente serrada) por incrementos de $(0,25 \pm 0,5)$ MPa/s até ocorrer a rotura.

- Regista-se a carga máxima suportada pelo provete (F), em Newton, arredondado às dezenas, e também o local por onde ocorreu a fractura.

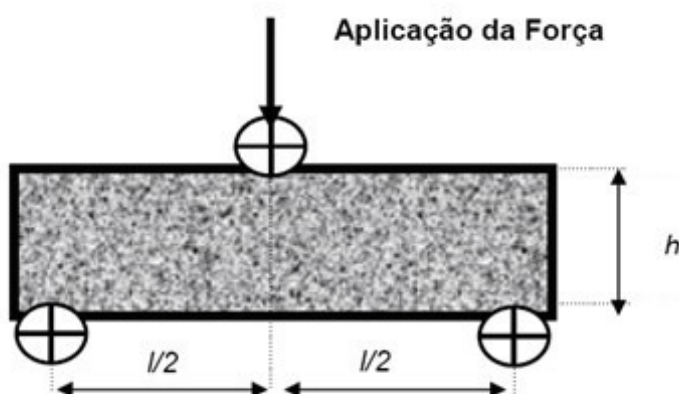


Figura 40 – Esquema do dispositivo de ensaio para flexão sob carga centrada (imagem retirada da procedimento do Laboratório de Rochas do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do ISEP; adaptada à EN 12372, versão Dezembro 2006).

Expressão dos resultados

A resistência mecânica à flexão (R_{ft}) é então determinada de acordo com a expressão:


$$R_{ft} = \frac{(3 \times F \times l)}{(2 \times b \times h^2)} \quad [23]$$

O resultado deve ser expresso em MegaPascal (MPa) com uma aproximação de 0,1 MPa.

Se a fractura estiver desviada do centro do provete, mais do que 15% da distância entre os roletes de suporte, ou caso estiverem presentes veios, fissuras etc., deve ser registado no relatório de ensaio.

O quadro 18 apresenta uma proposta de classificação, no sentido crescente da qualidade da rocha, dos resultados de ensaios físico-químicos de material rochoso especialmente utilizada em pedra natural (segundo Pinto et al., 2006). Os valores apresentados da resistência à flexão em estudos de rocha ornamental apenas deverão servir como referência para balizar a caracterização geomecânica dos materiais pétreos de maciços fracturados e sempre que possível deverão ser discutidos, à luz de uma forma conservadora, visto que são amostras de afloramento rochoso tal como refere a ISRM (2007). Assim, para material rochoso de maciço, no caso do ensaio de resistência à flexão sob carga centrada, deverão considerar-se os seguintes intervalos, a saber: i) resistência muito baixa (< 2 MPa); ii) resistência baixa (> 2 MPa < 8 MPa); iii) resistência média (> 8 MPa < 18 MPa); iv) resistência elevada (> 18 MPa < 22 MPa); v) resistência elevada (> 22 MPa).

Quadro 18 – Uma proposta de classificação, no sentido crescente da qualidade da rocha, dos resultados de ensaios físico-químicos de material rochoso especialmente utilizada em pedra natural (segundo Pinto et al., 2006).

Características físico-mecânicas								
Sentido crescente da qualidade	Resistência à compressão (kg/cm ²)	Resistência à flexão (kg/cm ²)	Massa volúmica aparente (kg/m ³)	Absorção de água à pr. atmosférica (%)	Porosidade aberta (%)	Coefficiente de dilatação linear (x 10 ⁻⁶ por °C)	Resistência ao desgaste (Amsler) (mm)	Resistência Ao choque por impacto (joule)
	Baixa < 400	Baixa < 60	Baixa < 2300	Alta > 6,0	M.to alta > 10,0	M.to alto > 12	M.to baixa > 10	M.to baixa < 3
	500	80	2300	3,0	10,0	12	Baixa 10	3
	700	120	2560	1,2	Alta 6,0	Alto	7,5	Baixa
	---Média---	---Média---	---Média---	---Média---	---Média---	-- Médio 9	-- Média--	- Média 4,5
	1000	160	2600	0,5	3,0		2,2	
	1500	180	2700	0,3	1,0		1,2	6
	Alta	Alta	Alta	Baixa	Baixa		Alta	Forte
	2000	220	2800	0,1	0,5	6		10
	M.to alta > 2000	M.to alta > 220	M.to Alta > 2800	M.to baixa ≤ 0,1	M.to baixa ≤ 0,5	Baixo ≤ 6	M.to Alta ≤ 0,7	M.to forte ≥ 10

Breve Introdução à Mineração

4. BREVE INTRODUÇÃO À MINERAÇÃO

4.1 Generalidades

As contribuições dadas à sociedade pela indústria extractiva foram fundamentais para o desenvolvimento da civilização. Na sociedade moderna, os produtos mineiros provenientes da exploração de minas são essenciais para a indústria, contribuindo para a qualidade de vida dos povos. Desde muito cedo o Homem utilizou as pedras, produtos cerâmicos e, eventualmente metais, para ferramentas e armas.

A separação metalúrgica dos minérios para obter os metais e o seu fabrico subsequente evoluíram gradualmente ao longo dos séculos. O Homem sempre deu grande importância à sofisticação dos seus utensílios e à eficácia das suas armas, e disso tem sido sempre espelho o desenvolvimento da tecnologia mineira que se estendeu desde os minérios não metálicos, nos primórdios da humanidade, até mais recentemente, aos metálicos e energéticos. De referir ainda a descoberta e utilização do primeiro dos combustíveis minerais, o carvão, nos finais do século XIII, impulsionando a economia civilizacional para mais um salto significativo do seu progresso.

A engenharia de minas está relacionada com a localização dos jazigos minerais, bem como do projecto de implementação da exploração de minas, e também pela sua gestão até ao seu fecho, tendo em vista o controlo e minimização dos impactos ambientais negativos que possam ocorrer durante a vida útil da mina. Fundamentalmente, a exploração de minas consiste em executar uma escavação ou uma abertura como meio de entrada desde a superfície até ao depósito do minério (Fig. 41).

Para a elaboração deste capítulo seguiu-se de perto os trabalhos de referência, entre outros, de Simões Cortez (1965), de Brady & Brown (2004) e, especialmente, da FFV-MML (2006), de Alves (2006a, b) e de Barroso (2006a, b).

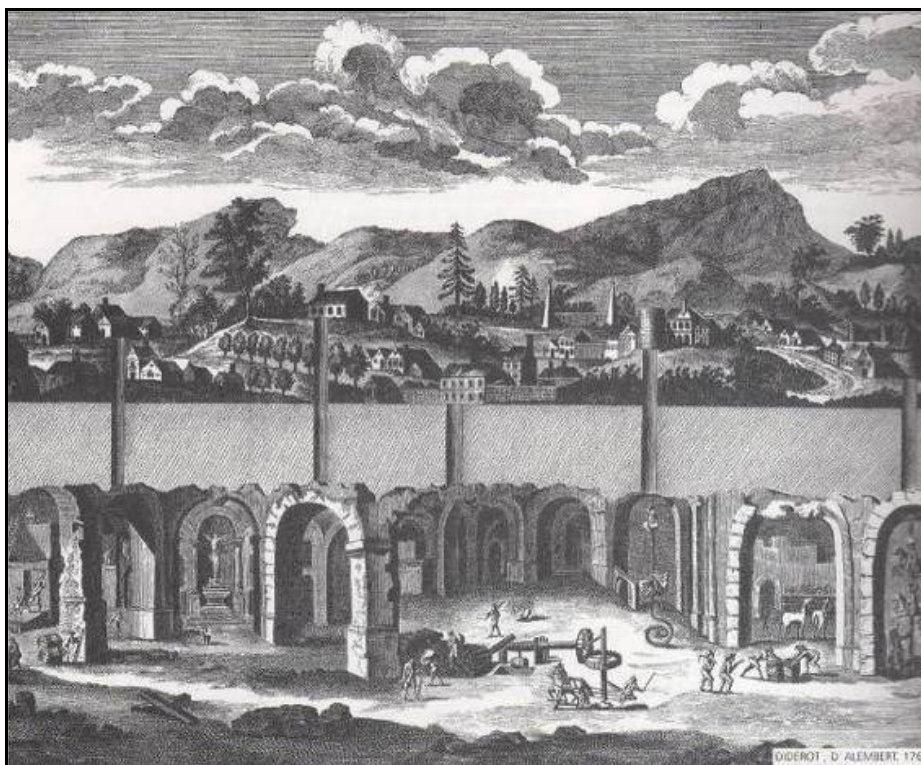


Figura 41 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas* Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).

Uma vez atingido o jazigo de minério, o método de exploração a aplicar, o tipo de maquinaria, os desenhos do projecto de desmonte do minério no terreno, bem como todos os procedimentos a executar para explorar a mina dependem das características físicas, geológicas, ambientais do local, e ainda das circunstâncias políticas e económicas em que o país ou a região se encontra. Durante a época de Agrícola (c. 1556), a rocha era quebrada a martelo e a escopro ou cinzel, sendo de referir que estes instrumentos do mineiro são o símbolo universal da exploração de minas.

Para além das ferramentas, o desmonte e a fragmentação das rochas pelo fogo foi o único método usado até ao século XIII. Por esta altura, as técnicas de mineração estavam bastante avançadas. Embora não houvesse explosivos, tal como os que conhecemos hoje, a abertura de galerias e poços era feita com o processo de aquecimento/arrefecimento alternado da rocha pelo fogo e pela água (Fig. 42).

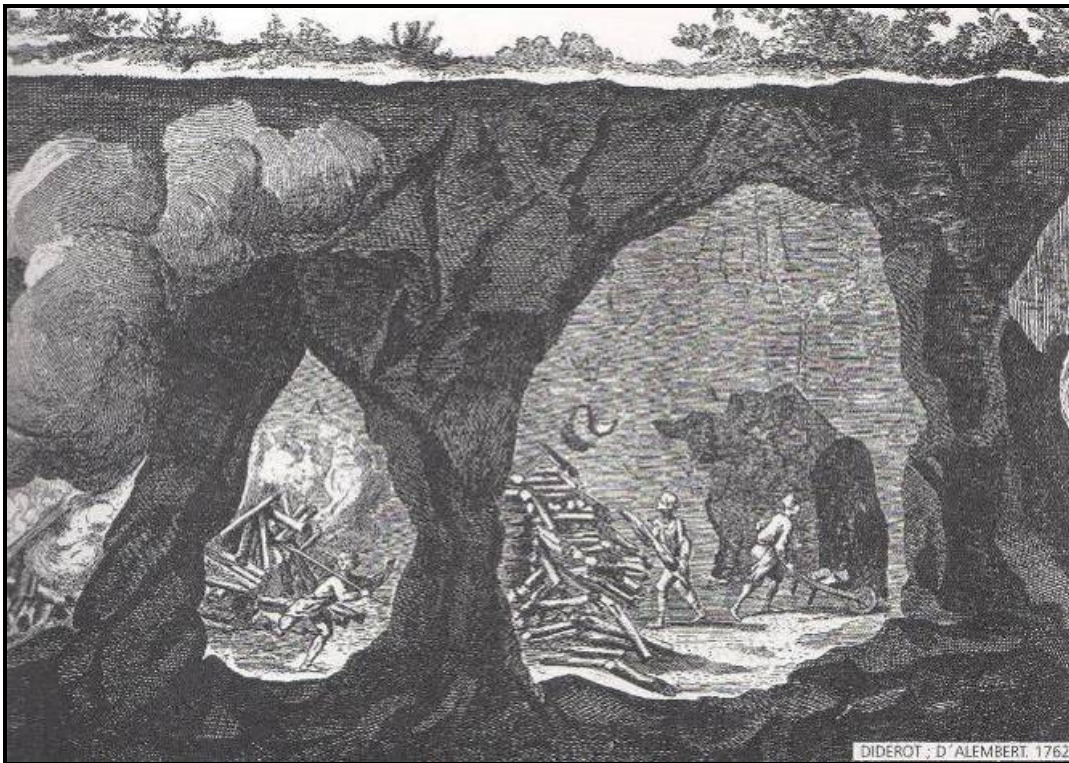


Figura 42 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas* Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).

O suporte dos terrenos (Fig. 43), quando necessário, era feito, então, com quadros de madeira e alvenaria de pedra ou tijolo.

Outro avanço notável foi a utilização de perfuração e carregamento dos furos com explosivos e respectivo rebentamento, segue-se a introdução da perfuração com engenhos a ar comprimido e a utilização de cordas-cabo no sistema de extracção do poço vertical, substituindo as pesadas correntes de ferro para elevar as jaulas com vagonetas de minério.

A iluminação desenvolveu-se a partir das lâmpadas de azeite utilizadas pelos mineiros. As candeias e velas eram colocadas nas escadas ou nos hasteais das minas até ao século XVIII. A partir do século XX, a iluminação passou a fazer-se primeiro por lâmpadas de acetileno e depois por luz eléctrica.

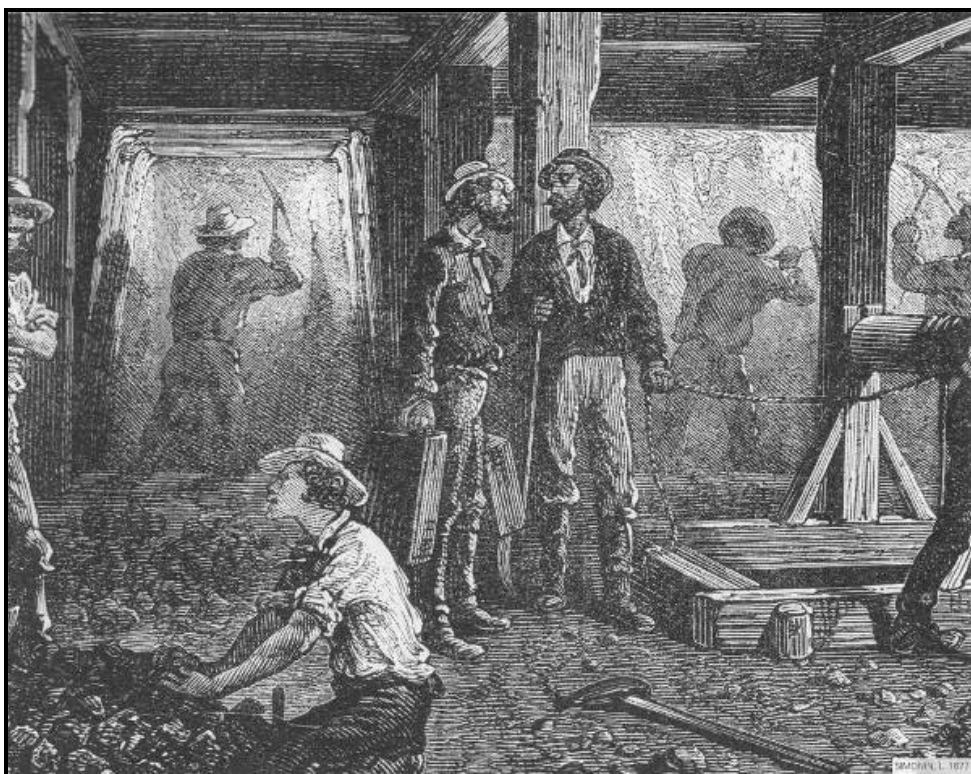


Figura 43 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas Séc. XIX*, Fundação Frédéric Velge (Simonim, L. 1877), segundo FFV-MML (2006).

4.2 Tipo de exploração mineira: uma breve síntese

A técnica de mineração (Fig. 44), utilizado em cada depósito depende da forma como o mineral se integra na rocha encaixante, em veios maiores ou finos, a sua posição e características específicas. As primeiras formas de exploração subterrânea constituem o desenvolvimento lógico da extracção superficial, escavando os veios fortemente mineralizados que se afundavam no solo, formando poços. A exploração de rochas metálicas à superfície é a mais antiga e usual, por ser de fácil reconhecimento visual – através das cores e estrutura da rocha – em zonas de grande erosão natural, geralmente nos cumes e encostas de antigas formações geológicas, com grandes zonas de mineralização expostas e alteradas pelos elementos: a acção da água dissolve os componentes metálicos e transforma-os em hidróxidos, o ar em óxidos, mais fáceis de reconhecer e extrair. A extracção em profundidade esteve naturalmente dependente do sistema técnico utilizado, nomeadamente a eficácia dos artefactos e a capacidade de extrair a água residual. Por essas razões, os primeiros poços são relativamente pequenos em profundidade e terminam, no interior, em forma de “sino”, de acordo com as escavações feitas na parte do filão mais rico.

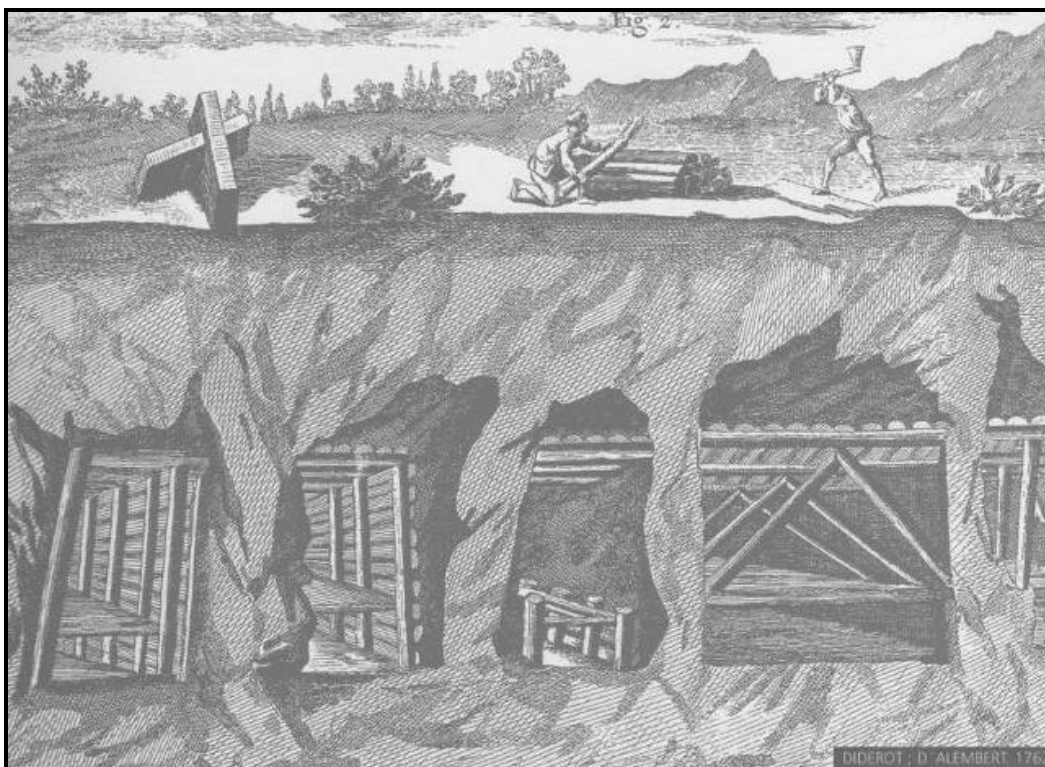


Figura 44 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas Séc. XIX*, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).

Em geral, as paredes apresentam concavidades onde eram colocadas as lâmpadas de iluminação. Os Romanos, durante o seu império, difundiram o uso de poços gémeos para facilitar o escoamento das águas e, devido ao sistema utilizado, alcançavam profundidades perto de 100 metros, se não fossem interrompidos por veios de água ou interrupção da veia mineralizada.

A profusão de redes de galerias a ligar os poços difunde-se mais tarde, já no contexto de outro sistema técnico, ou mais cedo, em zonas montanhosas, onde era possível traçar galerias de entrada em profundidade, com inclinação capaz de escoar as águas por acção natural e facilitar o transporte do minério até à superfície, por sistemas de rolagem – primitivos mas eficazes. Não é por acaso que as primeiras zonas de exploração de grande escala se encontram em zonas montanhosas da Europa Central, costa da Cornualha, Suécia e Norte de Itália, para nos limitarmos à Europa. Mas não devemos esquecer as montanhas da China, Japão, interior africano e de outras regiões mineiras ancestrais.

Na Figura 45 evidenciam-se as várias formas de mineração subterrânea, que se dividem em duas grandes categorias:

- Em degraus – usado na lavra de filões ou veios quase verticais;
- Em galerias e pilares ou em frentes corridas (*long-wall*) – usado na lavra de massas filonianas horizontais ou em veios com possança considerável.



Figura 45 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas* Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).

Estes métodos milenares têm sido aperfeiçoados, mas basicamente permanecem com as suas características essenciais. Para além do seu uso coevo, dependendo do plano de lavra da mina que deve considerar todas as variantes para atingir um resultado maximizado, frequentemente alguns destes métodos tornaram-se a sequência lógica de outros preexistentes, consoante as características que surgem na massa mineralizada da mina e o avanço técnico utilizado. A envergadura das galerias, frente e rendimento de desmonte dependem e progridem a par das invenções técnicas relacionadas a par com as subjacentes actividades de lavra.

No entanto, o método de exploração mineira porventura mais antigo é a céu aberto ou em trincheiras, pois apenas requer a extracção da rocha ou das concentrações mineralizadas visíveis à superfície. As pederneiras (*pedras de sílex*) pré-históricas, donde se extraía a rocha para o fabrico de artefactos – utensílios (macro e micro) líticos, apresentam uma zona de extracção de acordo com as zonas de produção intensiva, localizadas nas jazidas de sílex mais duro.

Da mesma forma as primeiras minas metálicas apresentam sinais de extracção em regos ou trincheiras seguindo o gabarito dos veios metálicos e facilidade de desmonte das rochas encaixantes. O aperfeiçoamento e divulgação das técnicas de desmonte, quer em subterrâneo quer a céu aberto, tanto entre as civilizações regionais como, sobretudo, durante o Império Romano, originam paisagens mineiras de grandes dimensões e técnicas semelhantes, como Três Minas / Jales, em território nacional, ou Las Medulas, no Norte de Espanha; é uma paisagem

cultural considerado Património da Humanidade, legado da exploração dos recursos ibéricos durante a vigência do Império Romano. A exploração a céu aberto estava difundida na Europa Central, em minas de pequena dimensão que, à medida dos avanços técnicos, se convertiam em explorações subterrâneas. O desmonte a céu aberto foi esquecido até à intensificação da mineração durante as revelações industriais nos vários países.

A exploração a céu aberto, em grande escala, foi divulgada a partir de meados do século XIX e adaptada nas minas da Faixa Piritosa Ibérica, a partir de umas primeiras tentativas nas grandes minas espanholas de Tharsis, depois praticadas (pela primeira vez em trabalhos de grande escala) na Mina de S. Domingos, em território português. Esta primazia ibérica e portuguesa deve-se ao facto de as jazidas mineralizadas em cobre – objecto primeiro de exploração oitocentista nesta área – estarem dispostas sob uma camada relativamente fina (cerca de 50 metros) no chamado chapéu de ferro, zona de minérios oxidados e hidróxidos ricos em prata e ouro, explorados fundamentalmente durante o período romano. Economicamente, era mais viável proceder-se à remoção do minério-rocha do chapéu de ferro para iniciar uma extracção da zona mineralizada mais barata a céu aberto – a corta de grandes dimensões, a par de trabalhos subterrâneos a maior profundidade, em zonas de mineração mais pobre e filoniana. Este método, já comum nas pedreiras, foi generalizado no resto do mundo a partir do último quartel oitocentista, com a intensificação industrial da exploração dos metais úteis durante as várias etapas da Revolução Industrial. Naturalmente a possibilidade de exploração a céu aberto foi entusiasticamente recebida nas minas de carvão: esta solução ajudava a minorar o efeito dos gases – metano, inflamável e *grisú*, intoxicante, frequentemente com sequências fatais em ambiente subterrâneo, devido à profusão de madeirames usados em trabalhos e inundações subsequentes a desmoronamentos.

O grande desafio consistia na fórmula matemática de equacionar o declive dos níveis, que se convertiam em rampas, de forma a permitir a circulação de pequenos comboios que conduziam o minério do ponto de extracção ao cimo e continuar até aos pontos sequenciais de trabalho.

As galerias de acesso são adequadas a cada meio, e podem ser quase horizontais (uma pequena inclinação ajuda a drenar a água), para aceder a níveis semelhantes, ou inclinados, no entanto, a utilização de rampas como meio de circulação para o pessoal mostrou-se ineficaz, devido ao esforço suplementar de subida, sobretudo se os operários tivessem de carregar o minério ou outro tipo de material. Em tempos remotos, as galerias eram usadas em explorações a pequena profundidade ou quando a encosta escarpada permitia a horizontalidade de acesso aos diferentes níveis (andares) de exploração. Os poços verticais ou inclinados, constituíam uma forma de acesso rápido a zonas mais profundas, em terreno plano (Fig. 46). Consoante a dureza da rocha encaixante, ou a frequência do seu uso, as paredes dos poços eram reforçadas com travejamento,

de forma a que a entivação constituísse um reforço da estrutura do poço e, ao mesmo tempo, uma segurança acrescida contra os desmoronamentos ocasionais de pedras soltas. A forma milenar de subir ou descer um poço de mina consistia em fixar mãos e pés em apoios abertos directamente nas paredes da rocha ou fendas do madeirame, enquanto as costas se apoiavam na parede posterior, ajudando a tracção do corpo, podendo haver uma corda de apoio, pendente. Outro sistema coevo consistia no uso de escadas de madeira escavadas em troncos, que ofereciam a vantagem de uma grande mobilidade e reutilização.

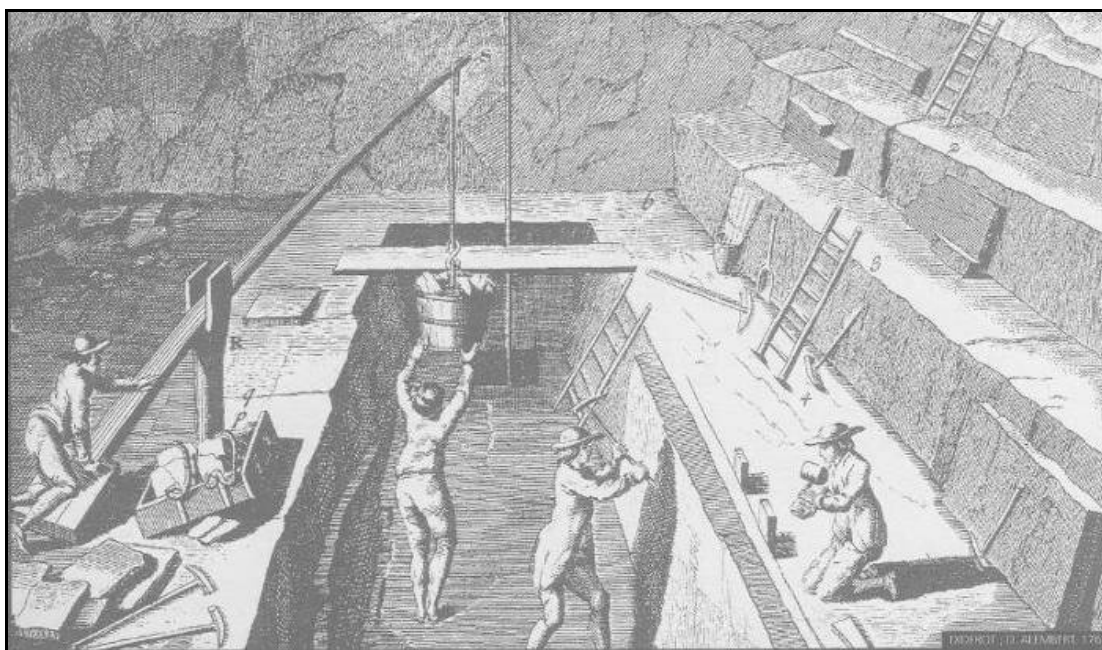


Figura 46 – Estampa ilustrada do livro *Mod. Minas* Séc. XIX, Fundação Frédéric Velge (Diderot; D’Alembert. 1762), segundo FFV-MML (2006).

Tradicionalmente, o minério era içado (Fig. 46), com a ajuda de maquinismos simples, tipo molinete ou roldana nos dois sentidos: conforme a corda se enrolava, desenrolava no sentido inverso, maximizando o aproveitamento da funcionalidade do engenho com menor dispêndio de energia. Frequentemente, eram igualmente usados para facilitar a mobilidade dos homens nos vários ambientes de trabalho, desde os navios às minas, quando era necessário transpor áreas na vertical – o sistema mais simples consistia em usar cordas providas de nós, de forma a apoiar as mãos, pés ou mesmo as coxas e, ao mesmo tempo, içar ou baixar a outra extremidade da corda, de forma a dar movimento ao corpo. Os baldes eram então usados recipientes elevadores para os homens, sozinhos ou em grupo; esta forma elementar de elevador podia ser provida de uma espécie de “chapéu”, cuja função era a de proteger contra pedras soltas durante a deslocação das pessoas.

A lavra de uma mina era, em tempos remotos, feita de forma e retirar a parte mais rica do minério, em zonas superficiais ou a pequena profundidade; as galerias e poços de trabalho seguiam o filão maior e mais rico, senda a área abandonada quando a veia se tornava pobre ou quando era tecnicamente impossível continuar o trabalho. À medida que progrediam as técnicas, progrediam os trabalhos em intensidade e profundidade. Os desabamentos tornavam-se frequentes devido à aproximação de trabalhos antigos (entre diferentes níveis ou mesmo galerias adjacentes). A planificação dos trabalhos subterrâneos começou a ser uma prioridade, utilizando-se para esse fim instrumentos como a bússola e outros instrumentos topográficos existentes na alvorada do século XVI (Renascentista), quando as cidades também começaram a ter planos de urbanização. Na realidade, entrar numa mina é entrar numa cidade subterrânea, com uma micro-sociedade hierarquizada, tarefas diferenciadas, infra-estruturas, transportes, armazéns, máquinas e mesmo zonas de descanso/refeições.

Desde o século XIX, é obrigatório cada mina estabelecer um plano de lavra, segundo normas gerais estipuladas, a ser aprovado pelas instâncias governamentais. A planificação compreende toda a rede e sistema de rolagem, transporte, drenagem de água e ventilação, para além do método de desmonte e maquinaria. Em finais do século XX, juntou-se ainda a planificação do encerramento previsto, bem como a reposição ambiental de toda a zona afectada, a par da monitorização do controlo ambiental.

Actualmente, o grande gabarito das infra-estruturas e as grandes profundidades que os trabalhos atingem, bem como o recrudescimento do uso dos meios rodoviários face ao ferroviário, favorecem a reutilização de uma mistura de poço inclinado e galeria de acesso – em rampa helicoidal – como forma de movimentar o pessoal em trabalho subterrâneo em veículos motorizados (carrinhas).

4.2.1 Plano de lavra e métodos de exploração

O método de exploração é o conjunto de processos utilizados e soluções adaptadas para remover *in situ*, a substância útil (minério) de um corpo mineralizado. Este conceito abrange não só o desmonte mas também a estabilidade da escavação, a traçagem, o suporte e revestimento da zona do jazigo explorada, bem como o transporte dos materiais desmontados no mesmo jazigo mineral.

Os elementos fundamentais de um método de exploração são os seguintes:

- A estabilidade da escavação;
- O tipo de traçagem;
- A posição das vias de transporte;
- A forma, extensão, orientação e sentido de progressão da frente de desmonte;

- O modo de remoção e transporte dos materiais;
- Sentido da exploração, nas direcções vertical e horizontal.

Os diferentes métodos que permitem o aproveitamento dos jazigos minerais podem agrupar-se nos três grandes grupos conhecidos a que chamaremos tipos de exploração:

- exploração a céu aberto, quando as escavações para o desmonte do material estão ao ar livre;
- exploração subterrânea a partir da superfície, quando o jazigo subterrâneo é explorado sem abandono da superfície;
- exploração subterrâneo, quando as escavações não estão em contacto com o ar livre.

Por vezes, a jazida mineral não se apresenta como um depósito de minério compreendido entre dois planos, variando assim a possança, isto é, a distância entre o tecto (topo) e o muro (na base) da jazida.

O plano de lavra de um mineral economicamente rentável inicia-se pela traçagem, que consiste em dividir a massa mineral existente no subsolo por níveis, ou seja, em longas zonas compreendidas entre duas galerias traçadas com uma ligeira inclinação para favorecer ao mesmo tempo o escoamento das águas e rolagem dos materiais.

A galeria inferior de cada um dos andares deve estar ligada à galeria superior através do poço de extracção, por onde se faz a circulação e renovação do ar, a elevação das águas acumuladas no fundo da mina e a extracção do minério. Também é pelo poço principal, ou de extracção, que os trabalhadores com as respectivas ferramentas acedem ao interior da mina. Assim, a localização do poço de extracção assume uma importância estratégica primordial, com vista ao bom aproveitamento e exploração racional das reservas minerais existentes numa mina subterrânea.

As galerias entre diferentes níveis ligam-se através de rampas, ou túneis inclinados de forma a circularem máquinas, animais e trabalhadores. Um outro tipo de aberturas que ligam níveis e sub-níveis faz-se através das chaminés e dos inclinados. É a partir destas aberturas que se despeja o minério, no fundo das quais é armazenado em torvas. A partir daqui procede-se ao enchimento das vagonetas que transportam o minério ao longo da galeria de rolagem até ao poço principal. Por fim, as vagonetas entram em jaulas para serem elevadas até à superfície através do sistema de extracção.

Os maciços rochosos que contêm o depósito mineral, normalmente, são descontínuos, devido a acidentes geológicos como falhas, alterações no tipo de estrutura da rocha, apresentando contornos curvilíneos e mudanças de forma bruscas na sua morfologia. Como consequência, a

espessura ou possança do filão deixa de ser constante, pelo que se adequa à extracção do minério existente no subsolo.

Os métodos de exploração (Fig. 47), variam com a natureza e o valor do minério a explorar, com a possança e inclinação do filão, a sua resistência ao desabamento, mas também com o tipo de estrutura e características mecânicas da rocha encaixante. A selecção do método de mineração tem como objectivo a produção ao mais baixo custo possível, assegurando ao mesmo tempo o bom aproveitamento do filão e a segurança dos trabalhadores.

Numa mina subterrânea é indispensável estabelecer o método de exploração a aplicar, coordenando e articulando entre si todos elementos que melhor se ajustam às condições locais, bem como a natureza e o andamento do filão. Pode-se, por seguinte, dizer que, apesar de existir um método específico para cada mina, por vezes, altera-se o método de desmonte inicial, adoptando simultaneamente vários tipos de exploração, devido ao facto de se contactar mudanças significativas, quer no andamento do filão quer no tipo de jazida.

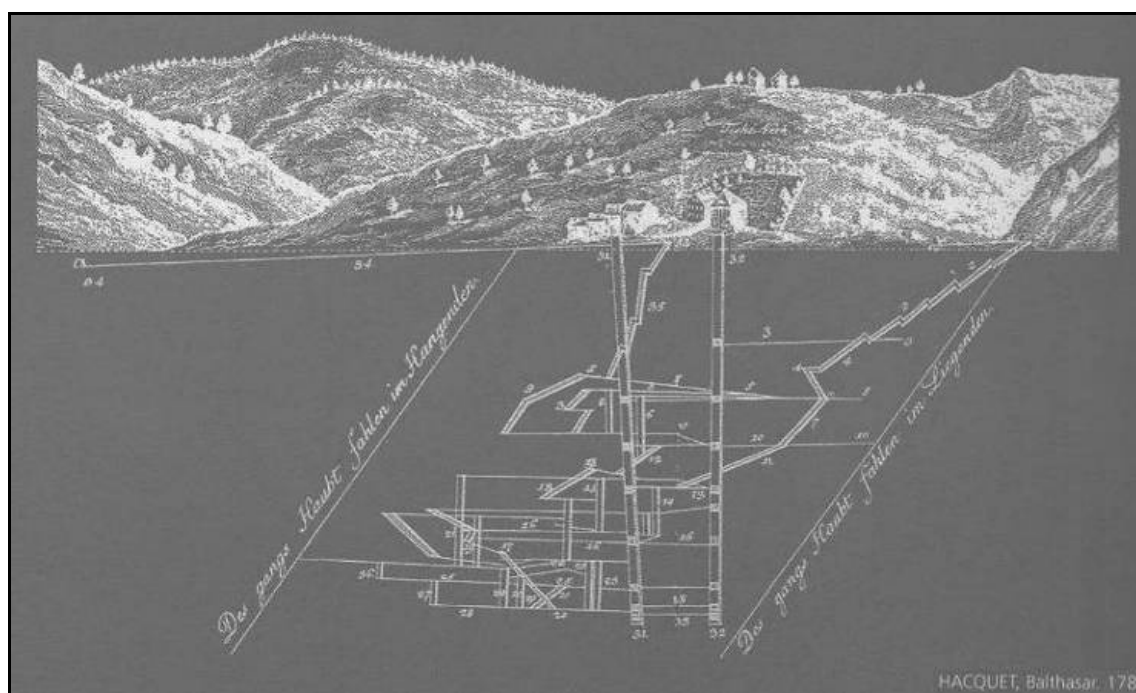


Figura 47 – Estampa ilustrada do livro **Mod. Minas Séc. XIX**, Fundação Frédéric Velge (Hacquet, balthasar. 1781), segundo FFV-MML (2006).

4.2.2 Modelos de Minas do Século XIX

Sistema de entivação com estrutura e revestimento contínuo em madeira. Os pórticos duplos permitem a montagem das régua por simples encaixe fixas com cunhas (possibilitando a reutilização das régua). A entivação é um sistema de estruturas de suporte dos tectos e paredes das escavações e do contorno das galerias, com vista a proteger os trabalhadores de desabamentos e queda de blocos, bem como manter a secção de galerias e poços.

O sistema de suporte e revestimento é constituído por esquadros de madeira com afastamento constante (considerado adequado à função de suporte) e, alternadamente, com estruturas simples e duplas. O revestimento de pranchas de madeira, com comprimento um pouco superior a duas vezes o afastamento dos esquadros duplos, apoiado a meio nos simples e, posteriormente, fixado com cunhas, também de madeira. Assim, as operações mineiras relacionadas com o transporte de minério e o acesso dos trabalhadores às frentes de exploração podem fazer-se em melhores condições de segurança. A Figura 48 apresenta uma série de exemplos de maquetes, à escala, de sustimento em madeira de galerias de antigas minas.



Figura 48 – Exemplos de maquetes, à escala, de sustimento em madeira de galerias de antigas minas (cortesia: D^{ra}. Patrícia Costa Museu do ISEP).

4.3 Metodologias de recuperação

Finda a lavra de uma exploração mineira é de toda a importância que a planificação do encerramento desta não tenha sido descurada. A finalidade a conceder à área que integra a exploração quer ao nível da superfície as escombreyas e os lagos, quer ao nível das galerias subterrâneas, deve ter em conta o enquadramento regional bem como os antecedentes históricos que integram a exploração.

É de extrema importância planificar o objectivo a dar a uma exploração após a conclusão da lavra, recuperação esta que pode envolver a criação de um espaço museológico integrando o espólio de materiais e equipamentos diversos resultantes da actividade mineira desenvolvida no local. Globalmente, concluiu-se que toda intervenção constitui um assinalável benefício para a zona, reduzindo de forma muito significativa os riscos associados à área degradada. Tratam-se assim de projectos de grande importância ambiental e histórica, fundamental para a melhoria das condições ambientais das áreas mineiras e que se insere na estratégia de recuperação e preservação histórica bem como a valorização ambiental destes espaços. Os projectos de valorização ambiental da área de exploração deverão promover a, minimização dos factores de risco que constituem ameaças para a saúde pública e o ambiente e reabilitando a envolvente em termos paisagísticos, preservando o habitat das espécies. Os estudos desenvolvidos procuraram identificar todas as alternativas possíveis para a recuperação das áreas mineiras.

Para os tipos de degradação identificados são possíveis e vários tipos de intervenção:

1. o transporte dos escombros para o interior das minas;
2. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
3. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
4. o confinamento e selagem no local.
5. o transporte dos escombros para o interior das minas;
6. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
7. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
8. o confinamento e selagem no local.
9. o transporte dos escombros para o interior das minas;
10. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
11. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
12. o confinamento e selagem no local.
13. o transporte dos escombros para o interior das minas;
14. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
15. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
16. o confinamento e selagem no local.

17. o transporte dos escombros para o interior das minas;
18. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
19. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
20. o confinamento e selagem no local.
21. o transporte dos escombros para o interior das minas;
22. o reforço das estruturas de contenção das galerias e implementação de sistemas de drenagem, no caso de se pretender manter o acesso em segurança ao interior da mina;
23. o transporte dos escombros para outras áreas degradadas onde possam ser enquadrados;
24. o confinamento e selagem no local.

Os volumes e as características das escombreliras e a situação da mina por vezes levam ao abandono da opção 1) pelas seguintes razões:

Em relação à solução referida na alínea 1), o transporte dos escombros para o interior da mina são muitas vezes inviáveis, essencialmente pelo avançado estado de degradação das galerias, cuja a lavra terminará á muito tempo, nas quais não houve manutenção e preservação das estruturas de suporte e estabilização, que torna o acesso impraticável mas essencialmente riscos inaceitáveis.

Em relação à solução da alínea 2) onde existe a necessidade de preservar o acesso ao interior, quer pelo facto de existir a possibilidade de retoma da lavra; quer para o reaproveitamento de água, quer para protecção do habitat de espécies; e até mesmo para preservação histórica, à necessidade se realizar estudos de caracterização geológico-geotécnica e geomecânica pormenorizados de molde a que os reforços estruturais e de estabilização a aplicar sejam os mais adequados para o caso concreto, uma vez que geralmente as técnicas de suporte aplicadas durante a exploração têm um tempo de vida de acordo com as perspectivas de exploração não sendo por vezes solução a longo prazo. É feita uma abordagem mais detalhada de técnicas e metodologias de reforço e estabilização estrutural. No caso de estudo que se apresenta neste trabalho, será abordado uma solução do tipo 2).

Em relação à solução da alínea 3), está em muitos casos pendente da existência ou não na proximidade de qualquer pedreiras ou situação natural que permitisse o transporte e deposição destes escombros.

A solução definida na alínea 4) atendendo a que as anteriores apresentam condicionantes várias vezes difíceis de contornar e dado que em regra estas soluções envolvem geralmente custos avultados, apresenta-se comumente como a única viável e ambientalmente mais favorável. Refira-se que existem disponíveis actualmente tecnologias que permitem garantir, com elevado

grau de segurança, a integridade e a eficácia deste tipo de sistema. A adopção deste tipo de solução permite solucionar os problemas relacionados com a dispersão pela água e vento dos materiais da escombreira e com a contaminação química, bem como aqueles associados à segurança das pessoas e animais e ao impacte visual, com o tratamento paisagístico e vedação adequados.

A recuperação ambiental e paisagística das escombreyras

A intervenção na área de escombreyras compreende:

- A modelação da configuração das escombreyras tem como principal objectivo a redução da área de escombreira e a obtenção de inclinações suaves, de forma a garantir-se a adequada estabilidade dos taludes e melhor integração paisagística;
- A impermeabilização superficial da área das escombreyras é efectuada com terras de carácter argiloso, recolhidas em zonas de empréstimo. Esta acção tem por principal objectivo impedir a dispersão destes materiais pela água e pelo vento;
- A impermeabilização total e colocação de um dreno em torno da área de selagem. A cobertura do aterro é assim concebida para ser constituída por um sistema de camadas, incluindo solo vegetal, camadas drenantes, argilas e tela de polietileno que associadas constituirão a impermeabilização e selagem de toda a área intervencionada;
- O aterro será dotado de sistemas de drenagem para as águas contaminadas e para as águas da chuva que serão desviadas pela cobertura isolante para o exterior de área recuperada;
- A reorientação da drenagem natural das zonas envolventes, pela implantação de sistema de drenagem superficial, periférico das águas da chuva ao redor da escombreira, para recolha e encaminhamento das águas provenientes das áreas adjacentes;
- A implantação de sistema de drenagem superficial acima da cobertura da escombreira e de drenagem sub-superficial na camada de cobertura, para recolher e encaminhar para as linhas de água existentes, as águas das chuvas que caíam sobre a área da escombreira e que não tenham contacto com o material depositado;
- A implantação de sistema de drenagem subterrânea na base da escombreira, para recolha e encaminhamento, para tanque de retenção/evaporação de eventuais águas contaminadas formadas no interior da escombreira;

- O tratamento paisagístico do local, que irá contribuir não só para integrar e valorizar este espaço sob o ponto de vista paisagístico, com a plantação de espécies arbóreas e arbustivas, de forma adequada, de modo a evitar danos na camada de impermeabilização. Esta acção assegura também um melhor comportamento de resistência à erosão e a inserção ecológica e valorização paisagística da área.

1) Tratamento dos efluentes de fundo de mina

São realizados estudo de caracterização hidrogeoquímica que visam determinar a existência ou não de contaminação permitindo adoptar uma intervenção especial relativamente aos efluentes do fundo da mina.

Em muitos casos, atendendo à potencial existência de contaminação nestas águas, indicadas pelas inspecções no local de descarga, os projectos prevêm a implementação de estruturas de controlo e estabilização.

2) Vedação de intrusão

Irà proceder-se à instalação de vedação e sinalização adequadas, ao redor da área de intervenção, bem como de infra-estruturas associadas que possam representar um risco à segurança da população, com sinalização indicativa e restritiva apropriada.

**Avaliação geomecânica em materiais pétreos metassedimentares
da galeria mineira das Azeleiras (Tibães)**

5. Avaliação geomecânica em materiais pétreos metassedimentares da galeria mineira das Aveleiras (Tibães)

5.1 Generalidades

O presente estudo visa, em traços muito gerais, a avaliação geomecânica dos materiais pétreos metassedimentares de um tramo principal com cerca de 80 m (e galerias transversais envolventes com cerca 15 m) de extensão da antiga mina de volfrâmio das Aveleiras (Mire de Tibães, Braga). Este trabalho insere-se num projecto de investigação, em curso, entre o Labcarga (Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada) do ISEP e a Direcção do Mosteiro de S. Martinho de Tibães (Direcção Regional de Cultura do Norte, DRCN, Ministério da Cultura), com o objectivo geral de viabilizar, futuramente, a sua visita no âmbito das actividades de extensão cultural e científica promovidas pelo Mosteiro de Tibães. Está igualmente inserido na investigação de doutoramento, em curso na Universidade de Coimbra, de M. E. Lopes (in prep.) no âmbito de caracterização geomecânica, geoambiental e de geoconservação do património deste antigo espaço mineiro no sentido de propor a sua reabilitação de modo a viabilizar a sua inclusão selectiva em itinerários classificados em termos da geodiversidade. Assim, por iniciativa da direcção do Mosteiro de Tibães, a mina das Aveleiras será objecto de eventual reabilitação parcial para se constituir um geossítio que, a longo-prazo, poderá ser considerado o estabelecimento de um geomuseu. Antes de se decidir quais as acções a desenvolver e a implementar na mina, será necessário definir o seu estado estrutural e a estabilidade geotécnica do maciço rochoso.

Para o estudo mais aprofundado da reabilitação estrutural e para as investigações interdisciplinares subsequentes, em curso no âmbito do trabalho de M. E. Lopes (in prep.), foram encetadas uma série de acções. Estas envolveram, entre outras, a compilação exaustiva da documentação histórica, patrimonial e técnico-científica existente, a realização de estudos geológico-geotécnicos do terreno, bem como de ensaios geomecânicos de campo e laboratoriais. Todas estas acções tiveram sempre em linha de conta os aspectos patrimoniais, históricos e geoambientais que contextualizam a investigação numa perspectiva de um novo ciclo de sustentabilidade (Lopes et al., 2008; Meixedo et al., 2008, 2009). Em suma, o presente trabalho pretende contribuir para os aspectos de avaliação geomecânica do maciço metassedimentar fracturado da mina das Aveleiras, recorrendo aos ensaios esclerométricos, de carga pontual e de resistência à flexão sob carga centrada.

5.2 Enquadramento regional

A região de Mire de Tibães (Oeste de Braga) enquadra-se na denominada Unidade Metassedimentar Parautóctone do Minho Central e Ocidental (Ferreira et al., 2000), (Fig. 49, 50), ladeada pelos maciços graníticos de Braga, de Gondizalves e de Aveleda (Teixeira et al., 1973; Dias et al., 2000b). Estes maciços fazem parte, no Noroeste Peninsular, de uma vasta faixa de granitóides, com orientação geral NW-SE, e estendem-se nas regiões naturais desde o Alto Minho até às Beiras (Figura 49). Do ponto de vista geotectónico a região insere-se na Zona Centro-Ibérica (Ribeiro et al., 1990)

A distribuição espacial destes granitóides está localmente associada ao megacisalhamento de Vigo–Vila Nova de Cerveira–Amarante–Peso da Régua. Os granitóides em questão, nas proximidades da área em estudo, incluem-se nos maciços sin- e tardi-tectónicos relativamente à 3ª fase de deformação (D3) Varisca ou Hercínica (Ferreira et al., 1987, 2000). Nas proximidades do sector de Mire de Tibães afloram várias manchas graníticas de distinta fácies, i.e., na parte Nordeste, o Complexo Granítico de Braga e a Sul, o granito de Gondizalves e o granito de Celeirós (Dias et al., 1998, 2000b; Ferreira et al., 2000). O extenso vale preenchido por depósitos de cobertura do rio Cávado, controlado tectonicamente segundo a direcção geral ENE-WSW, materializa uma linha morfoestrutural divisória na região.

Este vale é constituído por depósitos aluvionares do Holocénico (Ribeiro et al., 1943; Teixeira et al., 1973; Braga et al., 1989) ou, na terminologia de Soares de Carvalho (1992), de depósitos fluviais, não actuais, que acompanham o canal actual dos rios e ribeiras.

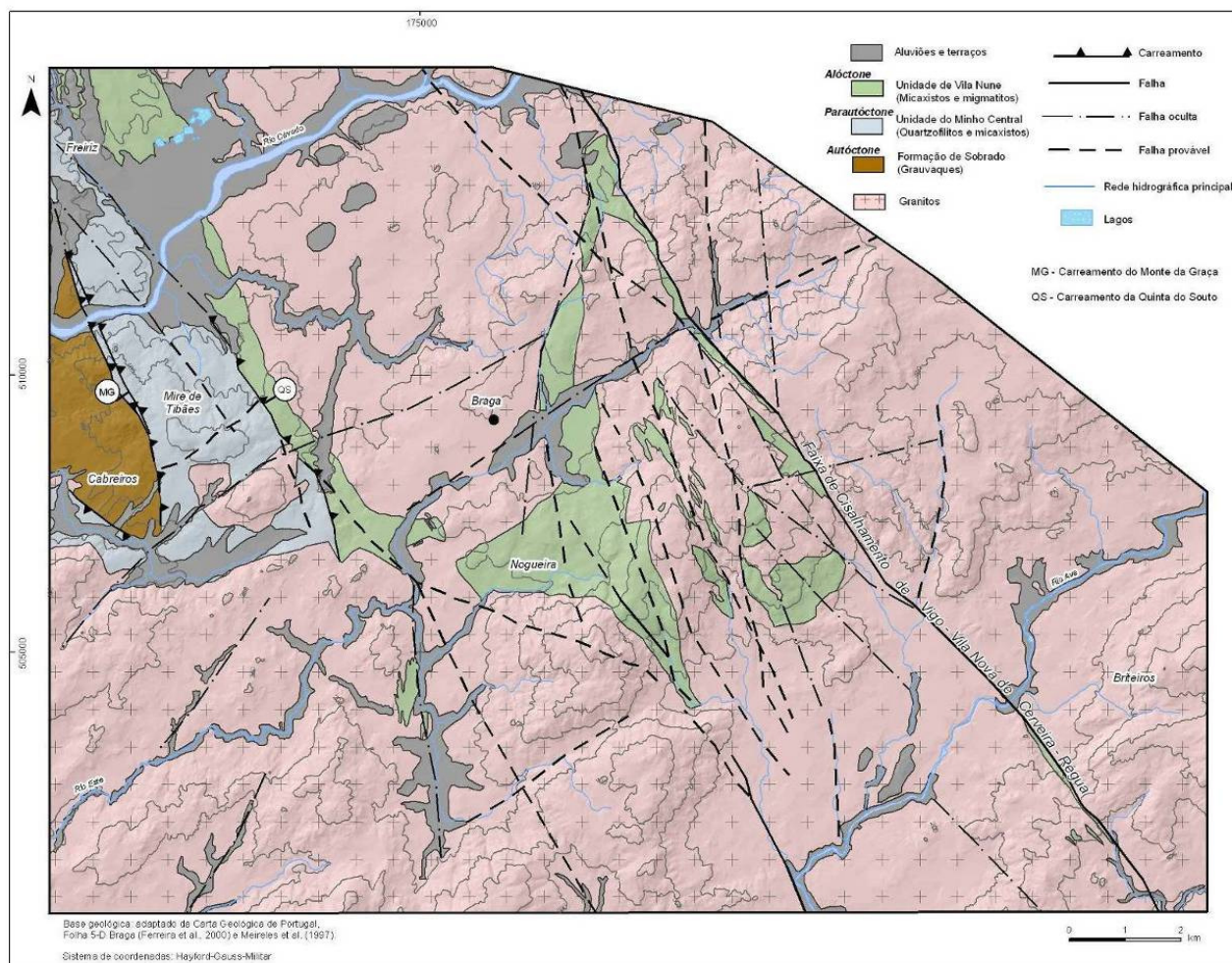


Figura 49 – Esboço geológico regional de Braga (adaptado e simplificado de Ferreira et al., 2000).

A característica topográfica mais evidente da área em apreço consiste no contraste entre o fundo plano dos vales e as vertentes íngremes das elevações que os marginam o que, de resto, constitui uma fisionomia abundante na região minhota (Feio, 1949).

Neste trabalho convém destacar as seguintes unidades geológicas (cf. Teixeira et al., 1973; Ferreira et al., 2000) que afloram na área em estudo:

- **Depósitos de cobertura**

Ocorrem, quer preservados em depressões tectónicas, quer como terraços fluviais, essencialmente ligados ao rio Cávado. Os depósitos considerados de cobertura correspondem a unidades plio-pleistocénicas e holocénicas, ocorrendo desde depósitos flúvio-lacustres até depósitos fluviais, aflorando ainda depósitos de solifluxão e de vertente e aluviões actuais;

- ***Rochas metassedimentares***

Ocorrem, na parte ocidental da cidade de Braga, a Oeste da faixa de cisalhamento de Vigo-Vila Nova de Cerveira-Régua. Na região de Mire de Tibães há indícios de estruturas graníticas sub-aflorantes, como apófises e veios graníticos a cortar as rochas metassedimentares. As unidades metassedimentares que afloram na região de Mire de Tibães, de idade Silúrica, são genericamente constituídas por micaxistos, metagrauvaques e metapelitos, com intercalações de quartzofilitos e quartzitos.

- ***Rochas graníticas***

Ocorrem no sector a Nordeste e a Sul de Mire de Tibães, sendo constituídas por rochas graníticas, de instalação sin-tectónica (granito de Gondizalves, com 320-310Ma; Dias et al., 1998, 2000a) e tardi-tectónica (granitos de Braga e de Celeirós; com 310-305Ma; Dias et al., 1998) relativamente à 3ª fase de deformação da orogenia Varisca. Genericamente, afloram na região, desde granitóides de duas micas, de grão médio a fino (fácies de Gondizalves e Caldas) a monzogranitos biotíticos, de tendência porfiróide, de grão médio a fino (fácies de Braga) e, por vezes, grosseiro (fácies de Celeirós).

- ***Filões e massas***

Afloram inúmeras rochas filonianas de composição variada, tais como filões de quartzo, filões e massas aplíticas e/ou pegmatíticas. Algumas destas massas foram alvo, no passado, de explorações mineiras, dadas as suas mineralizações em volfrâmio e estanho.

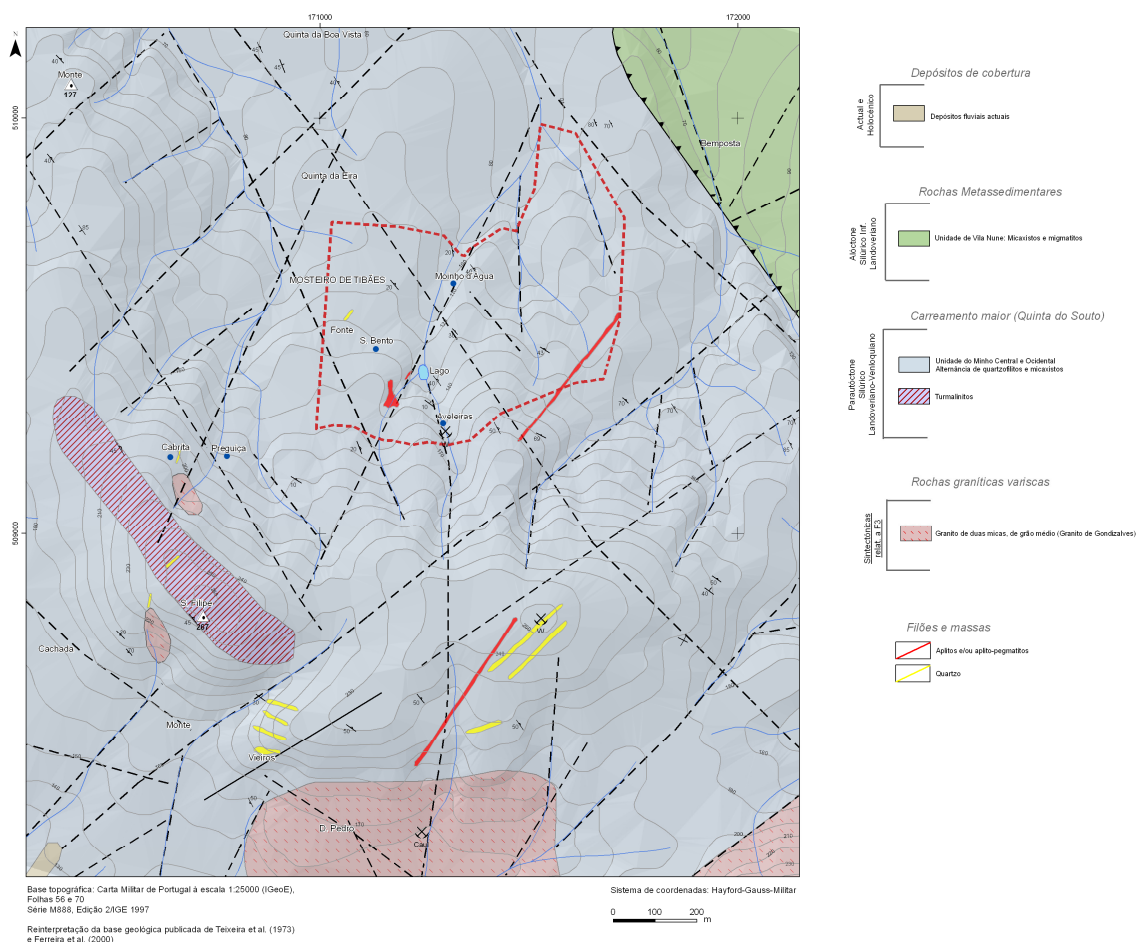


Figura 50 – Esboço geológico da região de Mire de Tibães (adaptado e reinterpretado de Ferreira et al., 2000).

5.3 Zonamento geológico-geotécnico do maciço da mina das Aveleiras

5.3.1 Apontamento histórico

São conhecidos, pelo menos desde 1632, referências a trabalhos de encanamento das águas da Mina de Água da Cabrita para o Mosteiro. Há também referências, datadas do período de 1776/1778, nos arquivos do Mosteiro de Tibães, em que os frades Beneditinos procederam à reforma da denominada “fonte das Aveleiras”, sendo construído, entre 1795-1797, um lago no sítio das Aveleiras com cascata e bancos laterais. O lago era alimentado por quatro novas minas de água, que também alimentavam um engenho de serra acabado de construir. Nos anos 40, do século XX, o substrato rochoso da área do monte de S. Gens, em Tibães, é calcorreado por pesquisadores em busca do volfrâmio motivado pelas cotações excepcionais deste minério no período da Segunda Grande Guerra Mundial (Vilar, 1998). Em 20 de Janeiro de 1940 foi efectuado

o registo na Câmara Municipal de Braga, tendo atribuído à sociedade por cotas “Silva, Barbosa & Marques, Lda” (Porto) a concessão da mina de volfrâmio denominada de “Tibães”, situada na freguesia de Mire de Tibães. A Direcção Geral de Geologia e Minas (DGGM) atribuiu, em 12 de Abril de 1948, com o alvará nº 2314, à sociedade supracitada, a concessão da exploração da mina de volframite denominada “Tibães” (ou “Tibais”). No período de 1941 a 1963 o jazigo de volframite desta mina, de pequenas dimensões, sofreu intensa exploração, especialmente no período da última grande guerra mundial, muito embora não oferecesse especiais condições económicas. As cotações excepcionais permitiram, assim, um grande volume de trabalhos que conduziu, praticamente, ao esgotamento do jazigo mineral (Lagoa, 1941; Fonseca, 1943; Pousada, 1947). Porém, esta mina foi envolta em alguma polémica, devido a vários contenciosos judiciais relativos ao seu registo, desde o seu arranque até ao seu fecho nos anos 60, do século XX. Assim, por despacho ministerial de 8 de Outubro de 1963 a concessão mineira de Tibães nº 2314 é declarada campo livre para novos registos a área nela consignada. Os dados da Delegação Regional da Indústria e Energia do Norte indicam uma produção de 12200 toneladas na mina de Tibães (Teixeira et al., 1973).

5.3.2 Breve descrição da Mina das Aveleiras

Os trabalhos mineiros realizados na área das Aveleiras constam de algumas sanjas, numerosos poços e chaminés de ventilação, e várias galerias, quer em direcção (longitudinais) quer transversais (designadas na linguagem geológico-mineira por travessas ou galerias transversais, TE), com algumas centenas de metros de extensão (Fig. 50). Estes trabalhos permitiram verificar a continuidade da mineralização, tanto em extensão como em profundidade. Em algumas zonas ocorrem escombrelas de material retirado das galerias usadas para extracção do minério. Esse material é constituído, essencialmente, por fragmentos de quartzo angulosos e rocha encaixante (xistos). As escombrelas originam, por vezes, relevos artificiais como a plataforma que ocorre a Nordeste do lago principal, constituída essencialmente por escombros.

As galerias inspeccionadas da Mina das Aveleiras cortam diversos filões de quartzo que foram explorados pela mineralização em volframite. Além deste mineral foi ainda possível encontrar pequenas quantidades de pirite, arsenopirite e galena. A existência de falhas regionais, que cortam frequentemente estes filões, torna a sua exploração difícil, salientando-se entre estas uma com direcção N120°E/50°NE que intersecta o principal filão explorado fazendo, na prática, com que este desapareça subitamente.

A mina das Aveleiras tem duas entradas, uma das quais de dimensões apreciáveis (ca. 1,80 m de largura por 2,40 m, de altura), sendo considerada como entrada principal da mina e uma outra, de menores dimensões, que corresponde a uma entrada estreita (“mina de água das Aveleiras”). A galeria principal, até aos 80 m de extensão, é muito ampla, tendo 1,50 metros de largura média e 1,90 metros de altura média. Nas galerias transversais (travessas TEI e TEIII), próximas à galeria principal, existem dois poços de ventilação (P) em que um comunica com a superfície (PIII) e outro, com cerca de 6 metros de altura, sem aparente comunicação (PII).

A mina tem, no total, seis ramificações principais das quais se destacam a que conduz à entrada secundária (mina de água) e a travessa TEIII, por ser a mais extensa e aquela donde provém grande parte da água circulante na mina. A galeria estreita da mina de água tem uma largura média de 0,70 metros e desenvolve-se em ziguezague, tendo uma chaminé (PI), sem aparente comunicação com a superfície. Esta galeria faz o escoamento de toda a água proveniente da mina. A ramificação TEIII, com dimensões equivalentes às da galeria principal, desenvolve-se para o lado direito desta galeria e é interceptada por quatro poços.

De realçar o mau estado de conservação da maioria dos poços de ventilação. As ramificações TEI e TEII têm desenvolvimento para o lado esquerdo da galeria principal, apresentando dimensões, em geral, inferiores àquela. É de destacar que a galeria principal se encontra abatida a cerca de 80 metros do seu início, obstruindo possível continuação.

Nenhum ponto da mina (Fig. 51), apresenta revestimento das paredes as quais foram suportadas por um entivamento de madeira que, em consequência da humidade da mina e da falta de manutenção, se encontra em muito mau estado ou sendo mesmo inexistente. Em alguns troços existe o risco de abatimento, tanto do tecto como dos próprios hasteais, devido à ausência de entivação ou degradação avançada do existente. Por outro lado, existem já troços abatidos na mina das Aveleiras.

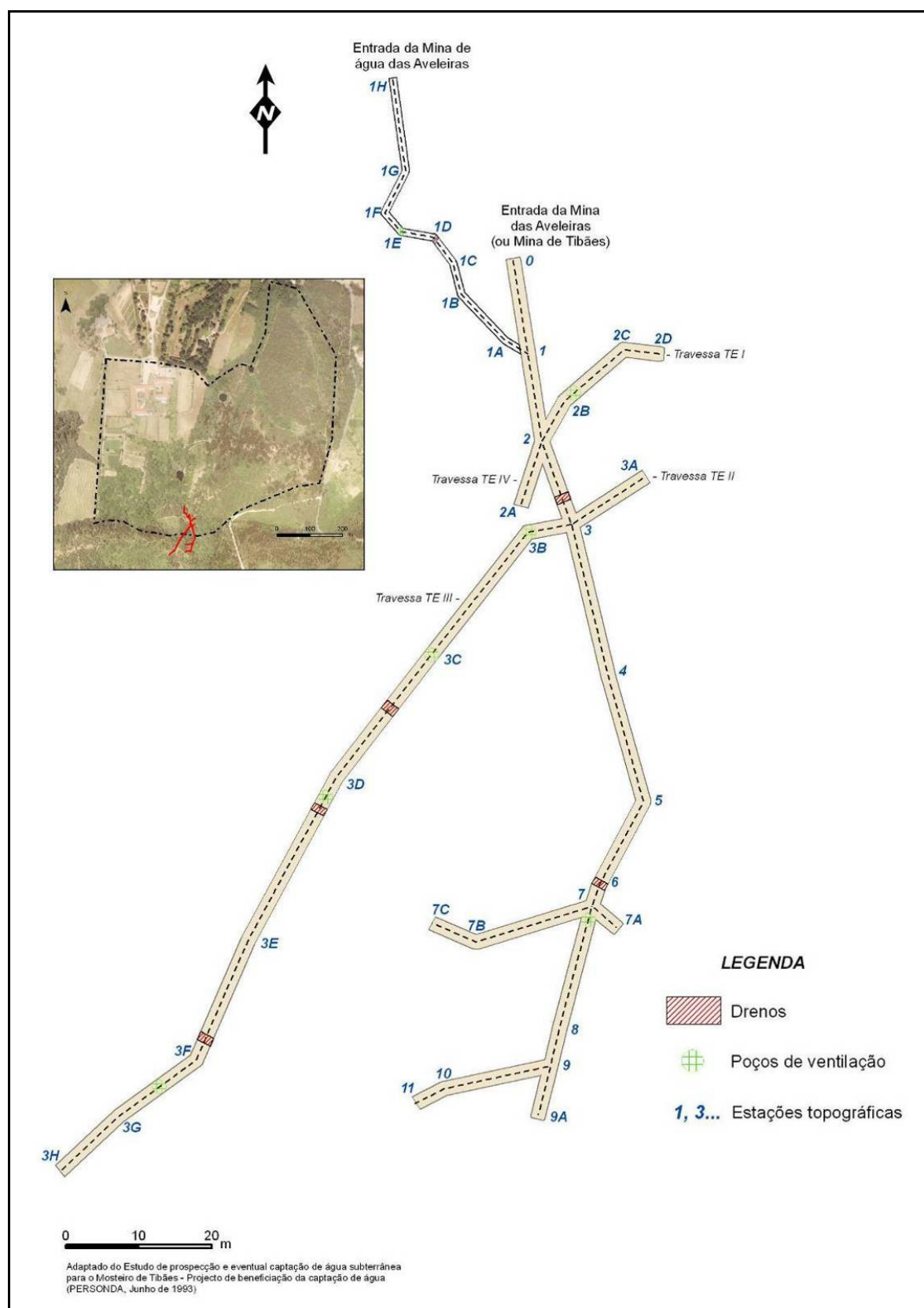


Figura 51 – Traçado subterrâneo da Mina das Aveleiras (ou de Tibães) – adaptado de LABCARGA (2007/08) e Lopes et al. (2008).

5.3.3 Geologia subterrânea

A realização da cartografia geológico-mineira é basilar num estudo como o presente sendo, por isso, da máxima relevância, quer para se conceptualizar o modelo geológico-estrutural subterrâneo, quer para servir de ossatura ao zonamento geotécnico subterrâneo (Labcarga, 2007/08). De seguida retomam-se os dados constantes no relatório de Labcarga (2007/08), de Neto (2007), de T. M. Ramos (2008) e de dados inéditos de M. E. Lopes (in prep.) que levou à síntese que seguidamente se apresenta.

O substrato rochoso subterrâneo inspeccionado reflecte globalmente a geologia reconhecida à superfície nos raros afloramentos e evidencia, de uma forma cabal, a existência de estruturas filonianas quartzosas. Assim, do ponto de vista geológico o maciço estudado caracteriza-se como sendo de natureza metassedimentar, de granulometria fina, micáceo, com foliações tectónicas e com intercalações de veios quartzosos. De uma maneira geral o maciço encontra-se medianamente alterado e com elevado grau de descontinuidades. Destacam-se as foliações que materializam a estrutura do maciço geradas em regime dúctil (ou seja, xistosidade e clivagem de fractura) aquando da deformação tectónica regional associada a episódio(s) orogénico(s) em níveis crustais profundos e a estruturas (nomeadamente, diaclases, falhas, etc.) geradas em regime frágil a dúctil-frágil, mais superficiais e associadas ao alívio de tensões do maciço, formando essas superfícies de ruptura.

Nos hasteais das galerias estudadas e cartografadas reconheceram-se as seguintes unidades litológicas metassedimentares (Labcarga, 2007/08):

- i) Xistos argilosos: quando frescos são rochas metapelíticas acinzentadas, micáceas, argilosas, luzentes e com finas intercalações de segregações quartzosas. Em regra, os xistos encontram-se alterados a muito alterados (W_{4-5}) e adquirem tonalidades desde o castanho amarelado ao vermelho. As rochas apresentam uma foliação (i.e., xistosidade regional) penetrativa bem desenvolvida, com uma atitude média N135°E; 20°SW. Registaram-se uma série de falhas (por vezes, com caixas de falha argilosas com possanças inferiores a 15 cm) com uma extensão apreciável e, no geral, subconcordantes com a xistosidade regional (N140°E; 22°SW) ou materializando os contactos litológicos (N190°E; 85°NW).
- ii) Quartzofilitos: metassedimentos psamíticos, de tonalidade castanho amarelada, granularidade fina a média, micáceos e segregações de quartzo. O diaclasamento intenso e conjugado confere a esta unidade uma blocometria com espaçamento entre-blocos de rocha na ordem dos 45 cm.

- iii) Grauvaques: rochas metassedimentares psamíticas, de tonalidade amarelada clara, de granularidade fina e micáceos. Quando alteradas, apresentam tons esbranquiçados a amarelados e de fácil desagregação.
- iv) Corneanas: metapelíticas e quartzosas, de tonalidade castanha, com abundantes intercalações de segregações quartzosas, conferindo à rocha uma textura silíciosa e compacta. As rochas apresentam uma xistosidade penetrativa bem desenvolvida, com uma atitude média N120°E; 18°SW.

Ocorrem ainda uma série de filões e massas de quartzo, com possança média de 1 metro (Figura 52), com mineralização associada em volfrâmio, tendo sido objecto de exploração mineira. Alguns destes filões ocorrem como preenchimentos de falhas regionais. Foram também reconhecidos filões aplito-pegmatíticos.



Figura 52 – Estrutura filoniana quartzosa, Mina das Aveléiras.

5.4 Constrangimentos geotécnicos da Mina das Aveleiras

Neste item apresenta-se uma síntese dos principais resultados obtidos para as zonas geotécnicas das investigações realizadas por Labcarga (2007/08), Neto (2007), T. M. Ramos (2008), Lopes (in prep.).

Conforme referido, pode caracterizar-se geologicamente o maciço estudado como sendo de natureza metassedimentar, de granulometria fina, micáceo com intercalações e veios quartzosos. De uma maneira geral o maciço encontra-se medianamente alterado e com elevado grau de descontinuidades. Destacam-se as foliações que materializam a estrutura do maciço geradas em regime dúctil (ou seja, xistosidade e estratificação) aquando da deformação tectónica regional associada a episódio(s) orogénico(s) em níveis crustais profundos e a estruturas (nomeadamente, diaclases, falhas, etc.) geradas em regime frágil a dúctil-frágil, mais superficiais e associadas ao alívio de tensões do maciço, formando essas superfícies de ruptura.

Como resultado do cruzamento e da síntese de toda a informação geológica, geotécnica e geomecânica recolhida, (Fig. 51), foi possível elaborar um esboço de zonamento geotécnico.

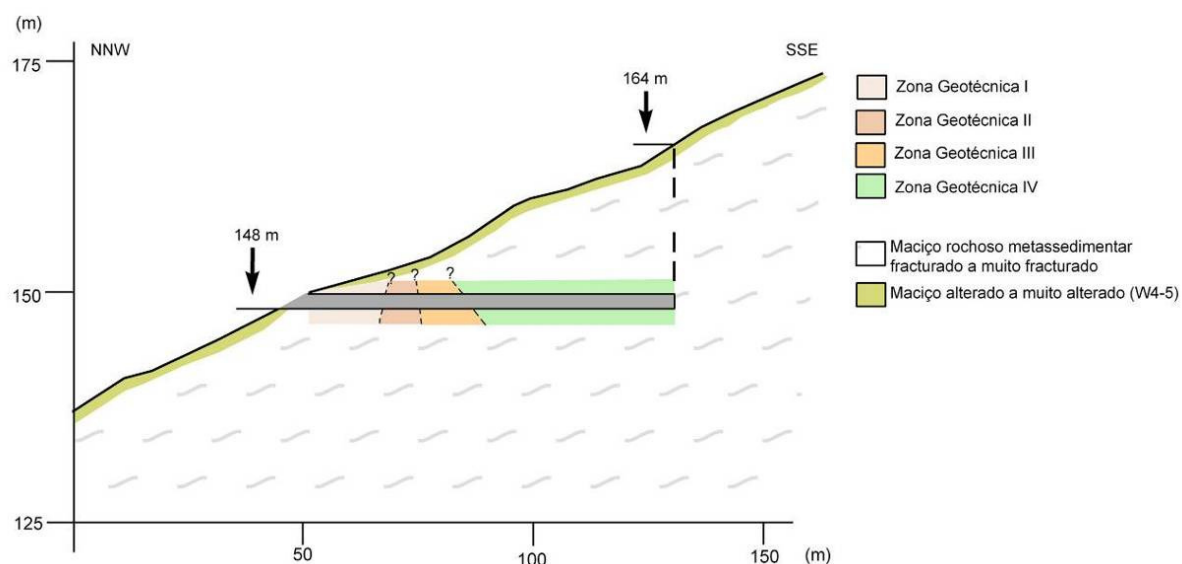


Figura 53 – Esquema do zonamento geotécnico de uma parte da galeria principal (extensão ca. 80 metros), Mina das Aveleiras (adaptado de Lopes, *in prep.*).

Do zonamento resultaram quatro unidades geotécnicas, que se descrevem seguidamente (Labcarga, 2007/08; Neto, 2007; Lopes, in prep.), consultar Figuras 54 a 58.

Zona Geotécnica I (ZGI)

Esta zona corresponde (Fig. 54), sensivelmente, aos primeiros 12m da Mina das Aveleiras. É representada por xisto argiloso alterado a muito alterado (W4-5). Foram definidas duas famílias principais de fracturação (N115°-125°E e N20°-30°E). Ambas as famílias apresentam espaçamentos afastados (F1-2). A resistência à compressão uniaxial, ensaiada “in situ” nas superfícies de descontinuidades, é baixa ($S_4 \approx 16 - 18$ MPa), e em laboratório não foi possível a sua determinação devido ao grau de alteração do material rocha, o que está em sintonia com o grau de alteração do material-rocha.

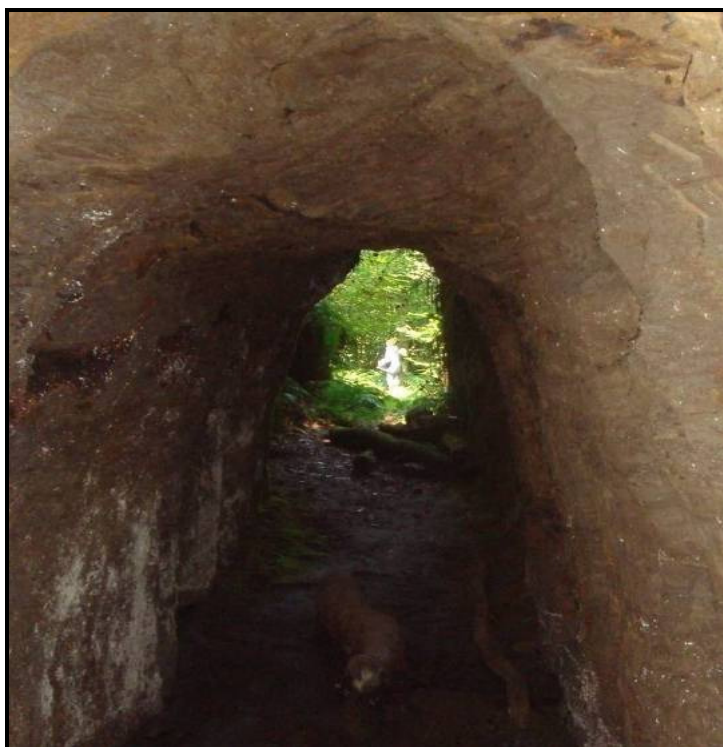


Figura 54 – Representação do maciço da zona geotécnica (ZGI) da antiga galeria Mineira de Tibães.

Zona Geotécnica II (ZGII)

Esta zona (Fig. 55), tem uma extensão de cerca de 7m. É caracterizada por xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2). Definiram-se duas famílias principais de fracturas (N120°-130°E e N20°-40°E). A família N120°-130°E apresenta espaçamentos afastados (F1-2), enquanto que a família N20°-40°E oscila entre o afastado e o medianamente afastado (F3). A resistência à compressão uniaxial, ensaiada “in situ” nas superfícies de descontinuidades, é média ($S_3 \approx 20 - 32$ MPa); em laboratório o material-rocha classificou-se como baixa a média ($S_4 - S_3 \approx 15 - 58$ MPa).



Figura 55 – Representação do maciço da zona geotécnica (ZGII) da antiga galeria Mineira de Tibães.

Zona Geotécnica III (ZGIII)

Esta zona (Fig. 56), tem uma extensão de cerca de 15m, na galeria principal e 25m nas galerias transversais. É caracterizada, predominantemente, por grauvaques e por uma estreita faixa de corneanas metapelíticas quartzosas, medianamente alteradas (W3). O estudo do grau de fracturação conduziu à definição das mesmas famílias que na zona ZGII. A família N120º-130ºE apresenta espaçamentos afastados (F1-2), enquanto que na família N20º-40ºE dominam os espaçamentos medianamente afastados (F3).

A resistência à compressão uniaxial, ensaiada “in situ” nas superfícies de descontinuidades, é média a baixa ($S3$ a $S4 \approx 18 - 26$ MPa); em laboratório a resistência à compressão obtida através do coeficiente de ressalto R é média a elevada ($S3 - S2 \approx 25 - 160$ MPa) e com o coeficiente de ressalto Q subdividimos a zona geotécnica em duas zonas distintas, onde obtivemos na zona geotécnica ZG3A uma resistência à compressão baixa a média ($S4 - S3 \approx 15 - 58$ MPa) e na zona geotécnica ZG3B temos uma resistência à compressão elevada ($S2 \approx 64 - 115$ MPa).



Figura 56 – Representação do maciço da zona geotécnica (ZGIII) da antiga galeria Mineira de Tibães.

Zona Geotécnica IV (ZGIV): sub-zonas ZG4A e ZG4B

Esta é a zona (Fig. 57), mais extensa, com cerca de 32m. É caracterizada por corneanas metapelíticas e quartzosas, medianamente alteradas (W3). O estudo do grau de fracturação levou à definição das mesmas famílias que nas zonas ZGII e ZGIII. A família N120º-130ºE apresenta espaçamentos, fundamentalmente, afastados (F1-2), enquanto que a família N20º-40ºE os espaçamentos se repartem pelas classes próxima (F4-5) a medianamente afastada (F3). A resistência à compressão uniaxial, ensaiada “in situ” nas superfícies de descontinuidades, é elevada ($S_2 \approx 63 - 79$ MPa) a média ($S_3 \approx 28 - 36$ MPa); em laboratório também ensaiamos nas duas sub-zonas geotécnicas diferenciadas, ZG4A e ZG4B, onde obtivemos na zona geotécnica ZG3A uma resistência à compressão média a elevada ($S_3 - S_2 \approx 20 - 60$ MPa) e na zona geotécnica ZG3B temos uma resistência à compressão elevada ($S_2 \approx 64 - 80$ MPa).



Figura 57 – Representação do maciço da zona geotécnica (ZGIV) da Antiga Galeria Mineira de Tibães.





Ocorrem, ainda com alguma frequência, uma série de filonetes e veios de quartzo na matriz metassedimentar do maciço rochoso (Fig. 57), que têm, por certo, influência nos valores obtidos no ensaio com o esclerómetro portátil e nos ensaios de carga pontual (PLT). Neste mesmo troço avaliamos o Índice de Carga Pontual do Filão de Quartzo (Figura 58) tendo-se obtido um índice de resistência à carga pontual ($Is(50)$) de 10,41MPa.



Figura 58 – Exemplo de estruturas filoninas de quartzo, (ZGIV), da antiga galeria mineira de Tibães.

No quadro 19 inclui-se uma ficha de identificação dos litótipos metassedimentares observados no maciço rochoso da antiga galeria mineira das Aveleiras.

Quadro 19 – Ficha de identificação dos litótipos metassedimentares da antiga galeria Mineira das Aveleiras.

ZONAMENTO GEOTÉCNICO	LITOLOGIA	ESTRUTURA	TEXTURA	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (macroscópica)
ZG I 	Xisto argiloso alterado a muito alterado	Xistosidade	Afanítica Lepidoblástica	Minerais de argila, micas e feldspatos
ZG II 	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado	Xistosidade	Afanítica e fanerítica Lepidoblástica e granolepidoblástica	Quartzo, feldspatos, micas (moscovite, clorite, sericite). Alternância de leitos gresosos micáceos e leitos argilosos
ZG III 	Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada	Xistosidade com bandado infra- decimétrico de quartzo Filonetes de quartzo discordantes da xistosidade	Afanítica e fanerítica Granoblástica	Quartzo, feldspatos, micas (moscovite, clorites, sericites). óxidos de ferro e manganês
ZG IV 	Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada Filonetes de quartzo com greisenização associada	Microcristalina Hemicristalina	Granoblástica	Quartzo, pouco feldspato, moscovite dourada, sulfuretos (pirite), óxidos de ferro e manganês

Os parâmetros tiveram como suporte a gama ou intervalo de valores apresentados no estudo geológico-geotécnico base, conforme resumido no Quadro 20.

Quadro 20 – Resumo dos parâmetros geomecânicos estimados (LABCARGA, 2007/2008).

Zona Geotécnica	Litologia	Resistência à Compressão Uniaxial (Mpa)	Peso Volúmico, γ (kN/m³)	GSI
ZG I	Xistos argilosos muito alterados	16 - 18	25	35 - 40
ZG II	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos	20 - 32	25	45 - 50
ZG III	Grauvaques e corneanas metapelíticas quartzosas	18 - 26	25	40 - 45
ZG IV	Corneanas metapelíticas e quartzosas	28 - 36 e 63 - 79	25	50 - 55

O Quadro 21 apresenta as principais características dos parâmetros geotécnicos da compartimentação do maciço rochoso das Aveleiras.

A figura 59 apresenta o zonamento geotécnico do traçado estudado no maciço rochoso da antiga mina das Aveleiras.

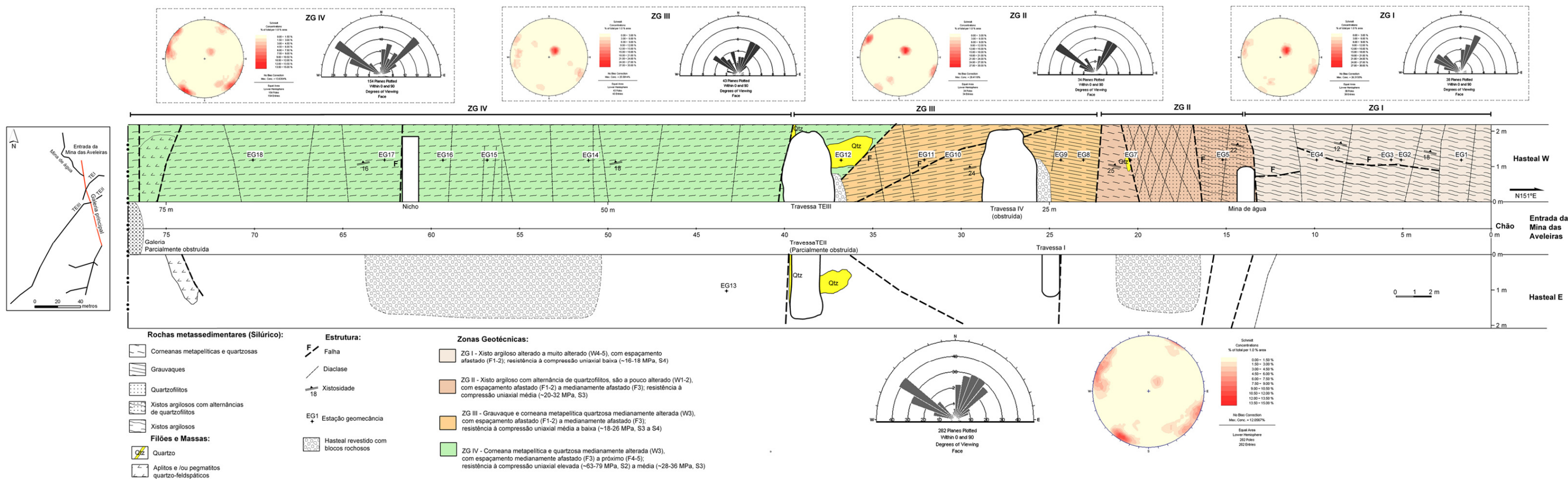


Figura 59 – Zonamento geotécnico da galeria principal (extensão *ca.* 80 metros) do maciço das Aveleiras (adaptado de LABCARGA, 2007/2008; Neto, 2007)

Quadro 21 – Síntese das características geotécnicas da Mina das Aveleiras (adaptado de LABCARGA, 2007/08; Neto, 2007).

Zonas	ZGI - 12 m	ZGII - 7 m	ZGIII - 15 m	ZGIV - 32 m
Fracturação (Diaclases, Falhas)	Principal: N25°E; 80°NW N120°E; 80°NE	Principal: N125°E; 80°NE N35°E; 80°SE	Principal: N125°E; 80°NE N35°E; 80°SE	Principal: N125°E; 80°NE N35°E; 80°SE N15°E; 80°SE
Xistosidade (principal)	N135°E; 20°SW	N135°E; 20°SW	N135°E; 20°SW	N120°E; 18°SW
Enchimento	S/ enchimento	S/ enchimento	S/ enchimento	S/ enchimento
Grau de Alteração	W ₄₋₅	W ₁₋₂	W ₃	W ₃
Grau de Curvatura	C ₁₋₂	C ₁₋₂	C ₁₋₂	C ₁₋₂
Rugosidade	R ₃	R ₃	R ₁₋₂	R ₁₋₂
Abertura	Fechadas	Fechadas	Fechadas	Fechadas
Terminação	Rocha	Rocha	Obscura	Rocha
Espaçamento	F ₁₋₂ /F ₁₋₂	F ₁₋₂ /F ₃	F ₁₋₂ /F ₃	F ₁₋₂ /F ₄₋₅ a F ₃

5.5. Avaliação geomecânica dos materiais pétreos *in situ* e laboratório

5.5.1. Considerações iniciais

A determinação da resistência à compressão simples do material-rocha recorrendo a ensaios geomecânicos é uma tarefa que requer especiais e morosos cuidados na preparação das amostras e condução dos ensaios. Em certos casos, o número de ensaios requeridos poderá assumir valores extremamente elevados de resistência e, sobretudo, quando estamos perante um vasto leque de distintas litologias. Existem outros casos em que o valor da resistência à compressão simples e o comportamento do maciço, relativamente à sua tensão-deformação, não necessita de ser estudado em detalhe, bastando o conhecimento aproximado do valor da resistência à compressão. Nestas circunstâncias, haverá vantagem em recorrer a ensaios bastante mais simples e económicos, desde que os resultados destes possam fornecer índices correlacionáveis com a resistência à compressão das rochas.

A resistência à compressão simples das rochas pode ainda ser relacionada com a sua dureza, a chamada dureza de Schmidt tal como foi referida anteriormente, determinada através de um ensaio “*in situ*” designado por ensaio esclerométrico executado através do clássico martelo de Schmidt e/ou do martelo SilverSchmidt. Este valor adimensional pode ser correlacionável, através do ábaco do Miller para o martelo clássico ou através das curvas de conversão para o SilverSchmidt, segundo o previsto pelo manual do fabricante (Proceq, 2007), para determinar a resistência à compressão simples do material rochoso. Assim, no que diz respeito às características mecânicas dos maciços rochosos, embora as características de resistência ao corte sejam, essencialmente, dependentes das descontinuidades. Logo, é de grande utilidade o conhecimento da resistência à compressão do material-rocha.

A determinação do índice de resistência à carga pontual (I_s), através da realização do denominado Ensaio de Carga Pontual (Point Load Test). Este ensaio geomecânico também poderá conduzir à estimativa do valor da resistência à compressão uniaxial. Este ensaio realiza-se sobre fragmentos de rocha previamente talhadas ou de testemunhos de sondagens. O índice I_s é correlacionável, segundo a ISRM (1985), com os ensaios esclerométricos (martelo Schmidt e martelo SilverSchmidt, tipos L/LR) realizado “*in situ*” e, assim, determinar-se o valor da resistência à compressão uniaxial.

A determinação da resistência à flexão sob carga centrada (R_{ft}), indica-nos a tensão máxima que provoca a ruptura de um provete (bloco) de um dado material-rocha quando submetido a esforços de flexão.

5.5.1.1. Trabalhos realizados

Este estudo iniciou-se com a compilação e análise de toda a documentação histórica e técnico-científica sobre a região de Mire de Tibães (Braga) e, em particular, da mina das Aveleiras (Figura 60). O reconhecimento e contacto com a área em estudo efectuou-se com a inspecção e aquisição exploratória de dados no terreno. Deste modo, tornou-se imprescindível que os dados, especialmente os recolhidos durante os trabalhos de campo, fossem introduzidos num sistema informático, com o objectivo de facilitar a sua sistematização e consulta. Todo trabalho realizado, quer no campo quer no laboratório, foi documentado fotograficamente de forma sistemática.

A primeira fase do trabalho de campo consistiu no reconhecimento visual, quer à superfície quer em profundidade, do estado estrutural do maciço rochoso e os constrangimentos geológicos da antiga mina das Aveleiras. Seguiu-se o contacto com os constrangimentos geológico-geotécnicos do maciço rochoso das Aveleiras, previamente estabelecidos em Labcarga (2007/08), Neto (2007), e Lopes (in prep.), (Figuras 60, 61).

A fase seguinte do trabalho de campo consistiu na realização do ensaio esclerométrico in situ, quer com o martelo clássico (vulgarmente conhecido em engenharia por martelo de Schmidt tipo L; Kahraman, 2001), quer com o mais recente esclerómetro portátil designado por SilverSchmidt; posteriormente proceder-se-á à avaliação da resistência à compressão uniaxial para apoiar o zonamento geotécnico.



Figura 60 – Reconhecimento e contacto com a área em estudo, Mina das Aveleiras ou de Tibães.

Para tal, colocou-se uma fita graduada (em metros) aproximadamente a 1,50 metros do chão da mina. Para cada hasteal, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha da amostragem, foram cartografadas as discontinuidades (e.g., diaclases, falhas e/ou estruturas filonianas) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma delas foi descrita de uma forma sistemática e foi feito o seu registo na respectiva ficha de campo (ver Anexo nº I).

Foram estabelecidas 24 estações geomecânicas para a realização do ensaio de campo com os esclerómetros portáteis (martelos de Schmidt e SilverSchmidt), (Figuras 62, 63, 64). Efectuando-se, assim, a avaliação da resistência mecânica das superfícies estruturais do material-rocha à compressão uniaxial simples.

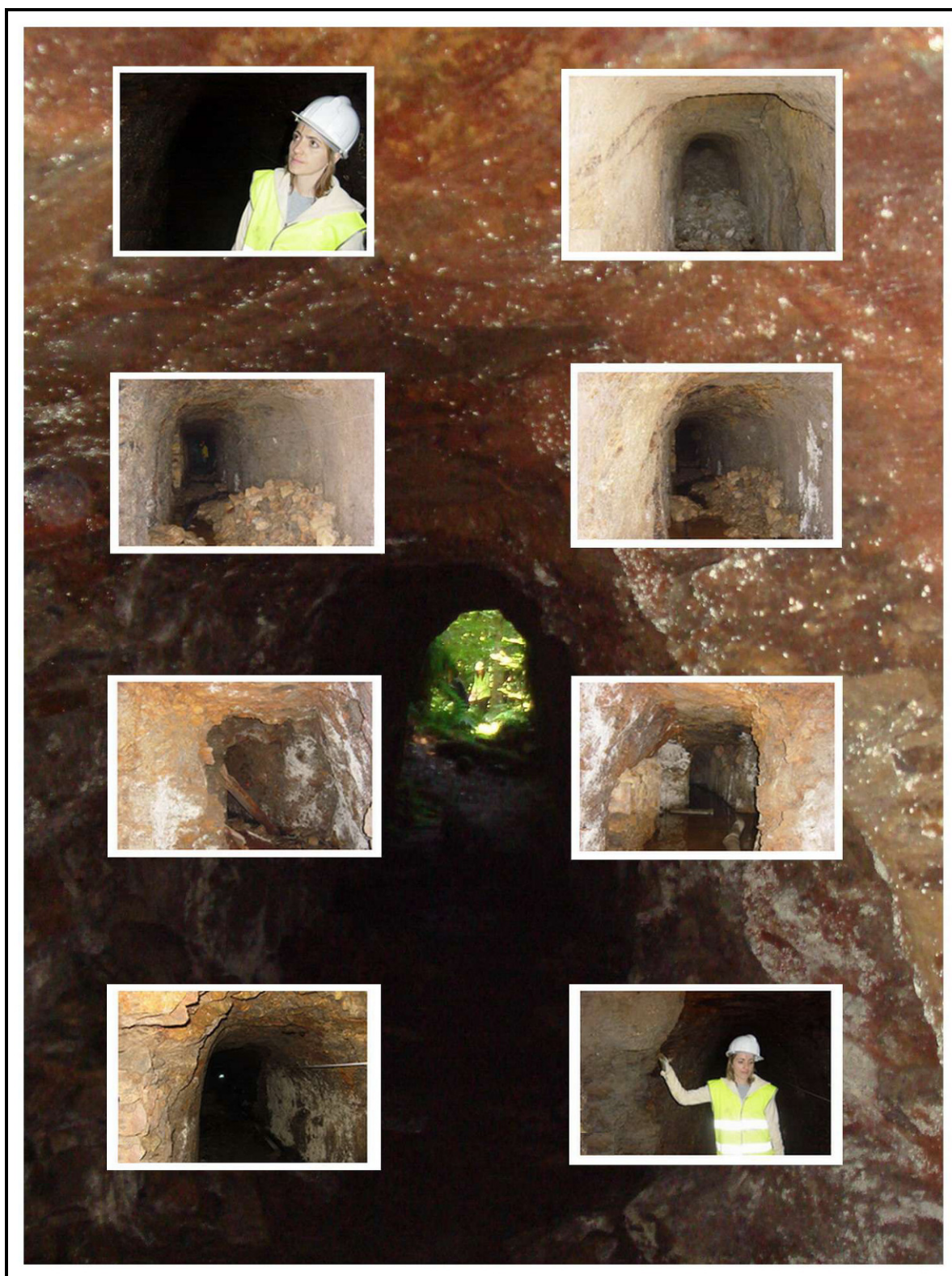


Figura 61 – Inspeção visual, reconhecimento do estado estrutural e da geologia da antiga Mina das Aveleiras.

Nesta fase do trabalho de campo, deparamo-nos com alguns problemas para a realização do ensaio referido devido ao grau de alteração do maciço, onde não foi possível realizar o ensaio na primeira zona geotécnica (ZG1), visto tratar-se de um xisto argiloso alterado a muito alterado (W4 - 5).



Figura 62 – Exemplificação da realização do ensaio com o *Martelo de Schmidt* Clássico, bem como outros aspectos do trabalho geológico de terreno.



Figura 63 – Exemplificação da realização do ensaio com martelo *SilverSchmidt*.



Figura 64 – Exemplificação da realização do ensaio com martelo *SilverSchmidt*.

Numa segunda fase do trabalho de campo, (Figura 65), efectuou-se uma campanha de recolha sistemática e representativa de amostras rochosas nas diferentes zonas geotécnicas para a realização, no Laboratório de Mecânica das Rochas do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), do Ensaio de Carga Pontual e do Ensaio à Flexão.



Figura 65 – Exemplificação da fase de recolha de amostras nas diferentes zonas geotécnicas, da Mina das Aveleiras, Tibães.

As amostras de rocha das diferentes zonas geotécnicas criteriosamente seleccionadas foram transportadas para o LGMC-ISEP para se proceder ao seu tratamento. Mais uma vez nos deparamos com bastantes dificuldades, tanto na recolha no maciço, como na preparação das amostras, devido ao elevado grau de alteração do material ou à sua competência.

Na preparação laboratorial das amostras da zona geotécnica ZG1 (xistos argilosos), no LGMC-ISEP, ao talhar os provetes na máquina de corte (GOLZ, modelo ST450), verificou-se, muitas vezes, a sua desagregação ou encravamento do disco de corte, devido ao excesso de argila e ao aumento do teor em água da amostra (Figura 66).



Figura 66 – Exemplificação da preparação laboratorial das amostras na máquina de corte, no LGMC-ISEP.

Após termos detectado este problema, passamos a cortar, sem água, essas amostras da zona geotécnica definida como ZG1 não se tendo verificado mais problemas na máquina de corte, ou seja, deslizando as amostras muito facilmente sobre o disco (i.e., o corte realizava-se em poucos segundos). Mas a fácil desagregação da rocha mantinha-se, sendo este o motivo do pequeno número de provetes que se conseguiu obter desta zona geotécnica (ZG1).

Pelo contrário, no corte dos provetes do filão de quartzo e das corneanas metaquartzosas (zona geotécnica ZG4), foi necessário exercer uma força muito elevada para conseguirmos que a amostra deslizesse sobre o disco, demorando alguns minutos para se efectuar o corte (Figura 67).

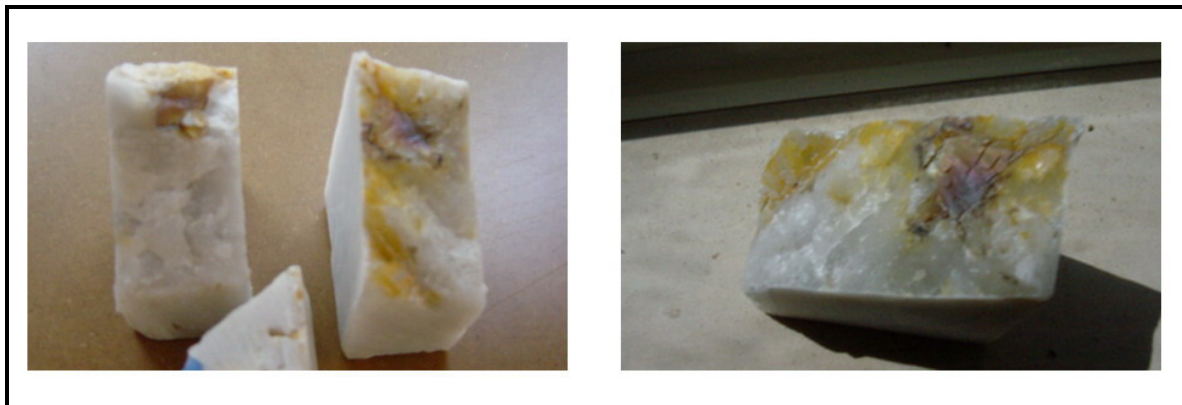


Figura 67 – Provetes de material metassedimentar com filonetes de quartzo e filão de quartzo leitoso.

Devido a estes contratempos, efectuou-se uma nova campanha de colheita de amostras no local de estudo, para assim se conseguir obter o número necessário de provetes para cada zona geotécnica.

Depois de se proceder novamente à preparação e ao corte das amostras, passou-se para o Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP para se realizar o Ensaio de Carga Pontual (*Point Load Test, PLT*), onde se ordenou todos os provetes por zona geotécnica e respectivo hasteal (Figura 68).



Figura 68 – Apresentação dos provetes por zonamento geotécnico para a elaboração do Ensaio Carga Pontual (*Point Load Test, PLT*).

Com o auxílio de um paquímetro digital (CONTROLS, modelo 82-C0109/1), determinamos as dimensões do provete segundo a menor dimensão (W) e a dimensão perpendicular ao eixo de ensaio (D), (Figura 69). No caso dos lados do provete não serem paralelos, W terá de ser calculado através da expressão:

$$W = (W_1 + W_2) / 2 \quad [24]$$

Também na utilização do paquímetro digital tivemos algumas contrariedades ao avaliarmos as dimensões dos provetes: o excesso de argila dos provetes de xistos argilosos da zona geotécnica ZG1 dificultava a sua utilização, tendo sido necessário efectuar uma limpeza cuidadosa para se retirar o excesso de argila, visto que a poalha desregulava o equipamento, impossibilitando a realização das medições (Figura 69).

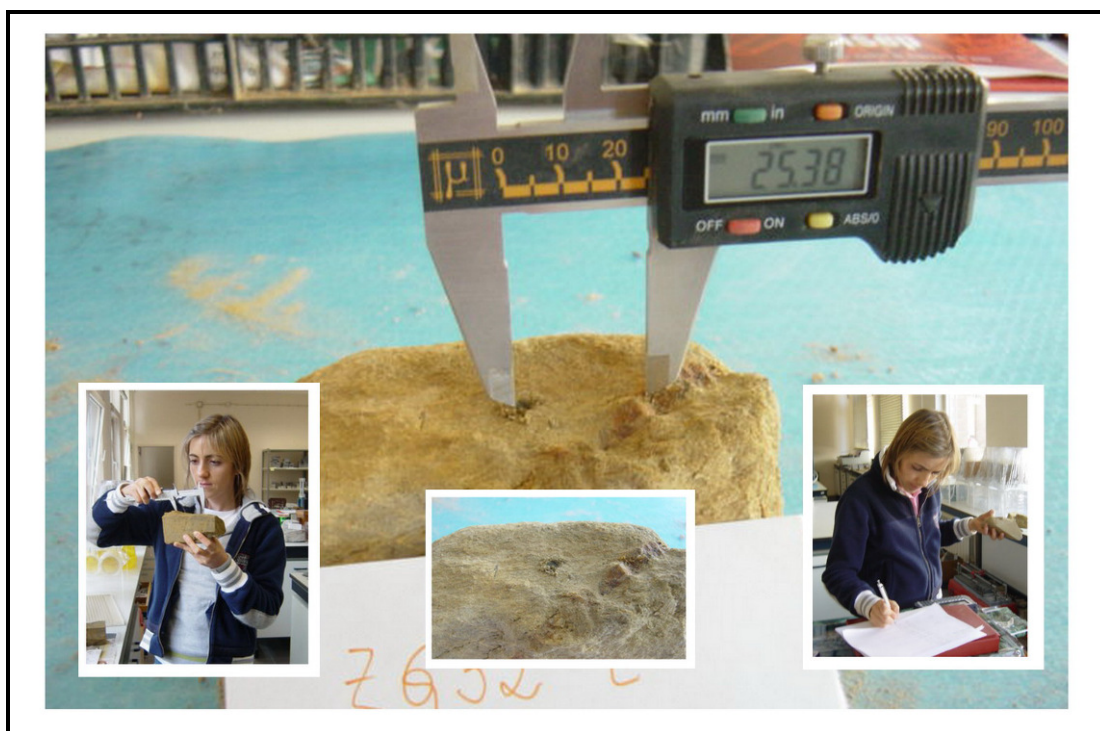


Figura 69 – Determinação das dimensões do provete com ajuda do paquímetro digital.

Consoante as características dos provetes, o tipo de rocha e a sua maior ou menor anisotropia, define-se o eixo escolhido para aplicação da força. Para o ensaio laboratorial de carga pontual (PLT) realizado sobre blocos de rocha são utilizados provetes desde que a relação, distância entre ponteiros – largura do provete, varie entre 0,3 a 1,0 de preferência próximo da unidade. Os provetes de ensaio que não verificavam esta relação, foram rejeitados (ver Anexo nº II).

O provete é colocado na máquina de ensaio (*ELE Point Apparatus*, modelo 77-0110) devidamente centrado (Figura 70) e a carga deve ser aplicada a uma distância superior a 0,5 vezes a largura do provete.



Figura 70 – Colocação do provete na Máquina de Ensaio de Carga Pontual (PLT), no Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP.

De seguida, provoca-se a sua rotura e regista-se a força necessária para o romper (P), (Figura 71).



Figura 71 – Rotura do provete.

Se a superfície de rotura passa apenas por um dos pontos de carga, o ensaio deve ser rejeitado (Figura 72).



Figura 72 – Exemplos de provetes rejeitados.

Todos os provetes utilizados para a realização dos ensaios de carga pontual (PLT) foram devidamente armazenados em caixotes, em local apropriado (Figura 73).



Figura 73 – Armazenamento dos provetes ensaiados

Após a realização do Ensaio de Carga Pontual (*Point Load Test, PLT*), passamos à realização do Ensaio da Resistência à Flexão sob Carga Centrada. Mais uma vez nos deslocamos à mina para efectuarmos uma nova campanha de colheita de amostras (Figura 74), para assim realizarmos o ensaio pretendido.

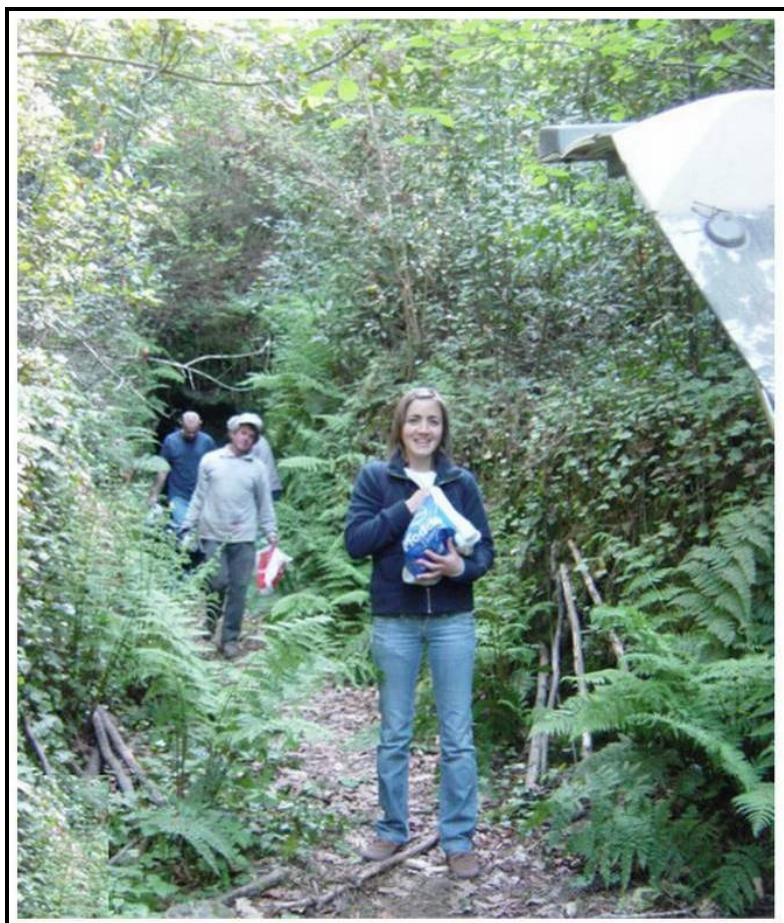


Figura 74 - Nova campanha de colheita de amostras.

Na preparação laboratorial dos provetes (Figura 75), nomeadamente no seu corte, deparamo-nos com as mesmas dificuldades que ocorreram a quando da preparação dos provetes para o Ensaio Carga Pontual (*Point Load Test, PLT*), dificuldades essas que se encontram já descritas anteriormente.



Figura 75 – Preparação laboratorial dos provetes para o ensaio de flexão.

Ultrapassadas tais dificuldades, passamos para o Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP para realizarmos o ensaio de Resistência à Flexão sob Carga Centrada. Optamos pelo ensaio de identificação visto o material rocha apresentar planos de anisotropia (xistosidade e outras foliações) sendo a direcção desses planos assinalada em cada um dos provetes através de duas linhas paralelas. Mais uma vez se ordenou os provetes pela respectiva zona geotécnica e respectivo hasteal (Figura 76).



Figura 76 – Colocação dos provetes pela respectiva zona geotécnica.

Este ensaio foi realizado segundo o procedimento estabelecido pela EN 12372 (Dezembro 2006). O procedimento estabelecido é adaptado relativamente ao tipo de material a ensaiar. Todas as modificações efectuadas em relação à norma referenciada foram alvo de estudo.

Para os ensaios de identificação, as dimensões dos provetes são em função da sua espessura (h), que deve estar compreendida entre 25 mm e 100 mm; o comprimento total (L) deve ser igual a seis vezes a espessura (h) e a distância entre os apoios – vão (l) – deve ser igual a cinco vezes a espessura (h).

Para determinarmos as dimensões dos provetes recorreremos ao mesmo método utilizado no ensaio PLT e, na utilização do paquímetro digital (CONTROLS, modelo 82-C0109/1), deparamo-nos com algumas dificuldades, em tudo semelhantes às sentidas do ensaio anterior, ou seja, o excesso de argila de alguns provetes dificultava a utilização do paquímetro, tendo sido necessário, mais uma vez, efectuar uma limpeza cuidadosa (Figura 77).



Figura 77 – Exemplificação da determinação das dimensões dos provetes com o paquímetro.

O ensaio foi realizado na máquina Digital Tritest 50, utilizando o dispositivo de flexão e uma célula de carga de 5kN, do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do ISEP. Coloca-se o provete na máquina de ensaio (Digital Tritest 50) devidamente centrado (Figura 78), sendo o vão entre apoios adaptado, consoante o comprimento do provete, ficando assim o eixo do equipamento perpendicularmente ao plano de anisotropia da rocha.

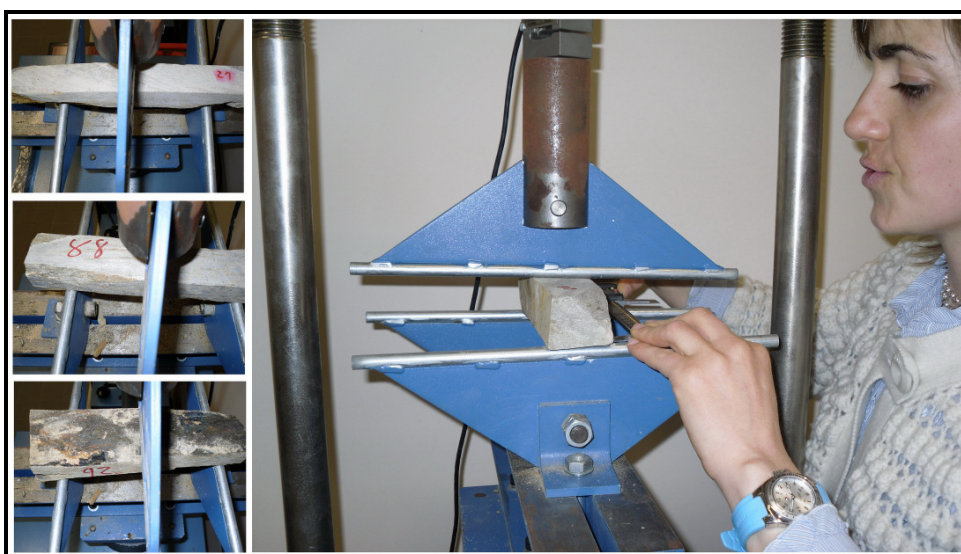


Figura 78 – Exemplificação da colocação dos provetes na máquina de ensaio de flexão devidamente centrados (Laboratório de Mecânica das Rochas do LGMC-ISEP).

Posteriormente, inicia-se o ensaio a uma velocidade constante de 7 kN/s, procedendo-se à respectiva carga do provete, perpendicularmente à xistosidade. Ao atingir a força máxima o provete entra em rotura, registando-se o valor máximo suportado (F), em kN, bem como o local por onde ocorreu a respectiva rotura (Figura 79). São considerados inválidos os ensaios em que a rotura não ocorre pelo centro do provete (Figura 80).



Figura 79 – Exemplo de provete em carga no ensaio de flexão.

Durante a realização do ensaio ocorreu uma avaria mecânica na máquina (Digital Tritest 50), onde estava-mos a realizar o ensaio, o que impossibilitou o seu funcionamento. Para prosseguirmos com o nosso estudo, recorreu-se a uma nova máquina (Form+Test Prüfsysteme DIGIMESS – M-10) cujas características são semelhantes às da máquina anterior (Figura 80). Neste equipamento, a velocidade de avanço é regulada manualmente, sendo mais difícil conseguir uma velocidade constante, ou contrário do equipamento anterior, cuja velocidade de avanço era programada inicialmente e mantida constante automaticamente.



Figura 80 – Continuação do ensaio, colocação dos provetes em carga.

Nos ensaios em que a rotura do provete não ocorreu pelo seu cento serão considerados inválidos (Fig. 81).



Figura 81 – Exemplos de provetes em que a rotura não ocorre pelo centro da superfície.

Por fim, todos os provetes utilizado no ensaio foram devidamente acondicionados e armazenados em local apropriado.

5.5.2. Apresentação dos resultados

5.5.2.1. Ensaio Esclerométricos

5.5.2.1.1. Ensaio Esclerométrico: martelo *Schmidt*, tipo L

O ensaio esclerométrico (martelo de Schmidt, tipo L) foi distribuído uniformemente pelos hasteais das superfícies estruturais do maciço rochoso estudado. Os resultados obtidos nas avaliações dos dez (10) pontos de impacto na superfície do material rochoso, para cada ensaio ao longo do perfil linear, foram registados numa ficha de campo (ISRM, 1978, 1985). No gabinete foi realizado um tratamento exaustivo dos dados recolhidos durante a realização destes ensaios geomecânicos de campo (seguindo, na medida do possível, a metodologia sugerida pela ISRM, 1978, 1981, 1985). Seguidamente recorreu-se ao ábaco de Miller, em que, com o valor médio de R (“Ressalto” ou “Rebound”; ISRM, 1981, 1985) calculado, a orientação do disparo (perpendicular à superfície de ensaio, e normalizado para as direcções sub-horizontal, 45º e subvertical) e a densidade média da rocha, é possível chegar a um valor aproximado de resistência à compressão uniaxial simples (Figura 82). A ISRM (1981) sistematiza, tal como foi referido anteriormente, em cinco termos de resistência à compressão uniaxial (S1 a S5).

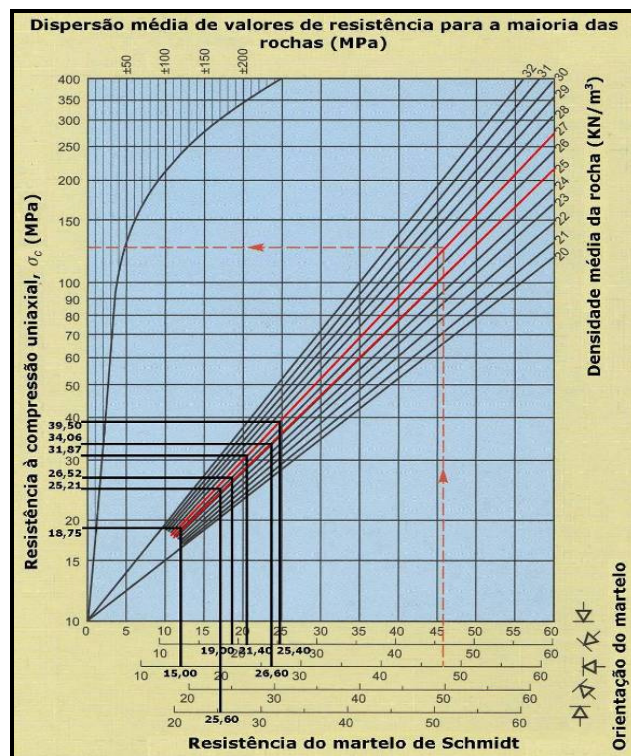


Figura 82 – Exemplo do cálculo da resistência a partir do martelo Schmidt, segundo o Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

5.5.2.1.2. Ensaio esclerométrico: martelo SilverSchmidt, tipo L

O ensaio esclerométrico realizado com o martelo de SilverSchmidt (tipo L) foi distribuído uniformemente pelos hasteais do maciço metassedimentar da mina em estudo. Os resultados obtidos nas avaliações dos dez (10) pontos de impacto na superfície do material rochoso, para cada ensaio ao longo do perfil linear, foram registados numa ficha de campo (ISRM, 1978, 1985). Em gabinete foi realizado um tratamento exaustivo dos dados.

De seguida, efectuou-se, em cada ponto de amostragem, dez medições do coeficiente de ressalto Q, recorrendo-se às curvas de conversão (manual da Proceq, 2007) segundo a orientação do disparo (i.e., perpendicular à superfície de ensaio), obtendo-se assim o valor da resistência à compressão uniaxial, seguindo a metodologia sugerida pela ISRM (2007).

Os quadros 22 a 25 apresentam uma síntese dos ressaltos dos ensaios esclerométricos.

Quadro 22 – Síntese do coeficiente de ressalto R dos ensaios “in situ” (Mina de Tibães).

Zonas Geotécnicas	Litologia	Resistência Compressão Uniaxial (MPa)	Classe Resistência (ISRM 1981)	Classificação de Resistência (ISRM 1981)
ZG1	Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	[14 - 22]	S4 - S3	Baixa - Média
ZG2	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	[15 - 30]	S4 - S3	Baixa - Média
ZG3	Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	[15 - 38]	S4 - S3	Baixa - Média
ZG4	Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada (W3)	[23 - 58]	S3	Média

Quadro 23 – Síntese do coeficiente de ressalto Q dos ensaios “in situ” (Mina de Tibães).

Zonas Geotécnicas	Litologia	Resistência Compressão Uniaxial (MPa)	Classe Resistência (ISRM 1981)	Classificação de Resistência (ISRM 1981)
ZG1	Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	ei	ei	ei
ZG2	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	[25 - 55]	S3	Média
ZG3	Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	[13 - 46]	S4 - S3	Baixa - Média
ZG4	Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada (W3)	[23 - 65]	S3 - S2	Média - Elevada

Quadro 24 – Síntese do coeficiente de ressalto R, ensaiado em laboratório no material-rocha.

Zonas Geotécnicas		Litologia	Laboratório (MPa)	Classe Resistência (ISRM 1981)	Classificação de Resistência (ISRM 1981)
ZG1		Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	ei	ei	ei
ZG2		Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	[15 - 51]	S4 - S3	Baixa - Média
ZG3	ZG3 A	Metagrauvaques , medianamente alterada (W3)	[25 - 52]	S3	Média
	ZG3 B	Corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	[64 - 160]	S3 - S2	Média - elevada
ZG4	ZG4 A	Corneana quartzosa, medianamente alterada (W3)	[20 - 54]	S3	Média
	ZG4 B	Corneana metapelítica, medianamente alterada (W3)	[64- 80]	S2	elevada

Quadro 25 – Síntese do coeficiente de ressalto Q , ensaiado em laboratório no material-rocha.

Zonas Geotécnicas		Litologia	Laboratório (MPa)	Classe Resistência (ISRM 1981)	Classificação de Resistência (ISRM 1981)
ZG1		Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	ei	ei	ei
ZG2		Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	[22 - 58]	S3	Média
ZG3	ZG3 A	Metagrauwaques , medianamente alterada (W3)	[16 - 58]	S4 - S3	Baixa - Média
	ZG3 B	Corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	[65 - 115]	S2	Elevada
ZG4	ZG4 A	Corneana quartzosa, medianamente alterada (W3)	[20 - 60]	S3	Média
	ZG4 B	Corneana metapelítica, medianamente alterada (W3)	[65 - 80]	S2	Elevada

5.5.2.2. Ensaio de Carga Pontual (*Point Load Test*)

No cálculo dos valores médios do índice de resistência à carga pontual $Is(50)$ temos de ter em conta o seu índice de Resistência e o índice de anisotropia. O valor médio de $Is(50)$ deve ser calculado retirando os dois valores mais elevados e os dois valores mais baixos. Dado que não obtivemos um grande número de provetes, optamos por eliminar o valor mais elevado e o valor mais baixo, efectuando-se a média dos restantes valores.

O índice de anisotropia $Ia(50)$ é calculado determinando-se a razão entre as médias dos índices calculados para tensões normais e paralelas aos planos de debilidade estrutural. O índice de anisotropia $Ia(50)$ toma valores próximos de um para rochas isotrópicas e valores mais elevados quando a rocha é anisotrópica.

De referir que, sempre que possível, realizaram-se ensaios de resistência à carga pontual paralelamente às superfícies de xistosidade, nomeadamente nas zonas geotécnicas ZG2 e ZG3. No entanto, só conseguimos obter sete resultados na zona geotécnica ZG3 (grauwaque e corneana metapelítica quartzosa medianamente alterada, W3), não sendo por isso um valor representativo.

Este método foi o utilizado para o cálculo da Correlação entre a Resistência à Carga Pontual e Resistência à Compressão Uniaxial.

O Índice de Resistência à Carga Pontual $I_s(50)$ deve ser utilizado directamente na classificação das rochas, enquanto que as correlações com a resistência à compressão uniaxial simples são apenas aproximações. A resistência uniaxial é cerca de 20 a 25 vezes a resistência à carga pontual (Figura 83).

Através do Quadro 26, observamos que o índice de resistência à carga pontual medido perpendicularmente à xistosidade conduziu a valores mais elevados do que os índices de resistência à carga pontual medidos paralelamente à xistosidade.

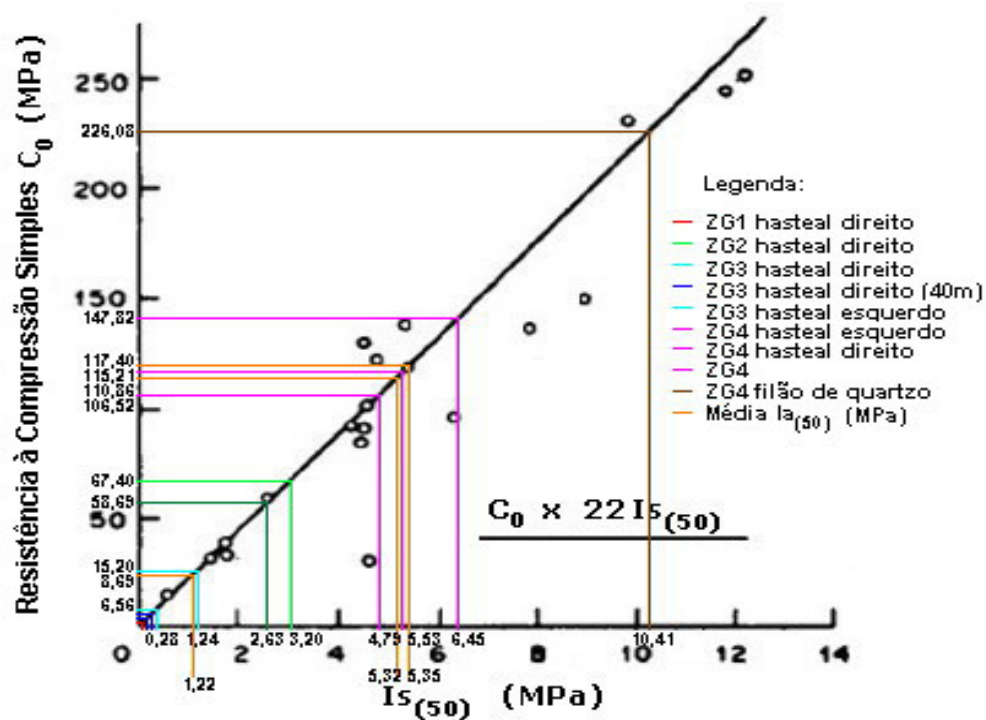


Figura 83 – Representação gráfica da correlação da resistência à compressão simples e a dureza da rocha (adaptado de ISRM, 1985).

Quadro 26 – Síntese do índice de resistência à carga pontual.

ISRM: Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)								
Índice Resistência à Carga Pontual (Is)								
Zonamento Geotécnico	Média Is(50) ⊥ (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Média Is(50) // (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Média Is(50) (MPa)	Ia(50) (MPa)	Média Ia(50) (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)
ZG1 hasteal direito	0,06	0,00	0	0	-	-	-	-
ZG2 hasteal direito	3,2	67,40	2,63	58,69	-	1,22	1,22	8,69
ZG3 hasteal direito	1,24	15,20	0,15	0,00	-	8,37	5,32	110,86
ZG3 hasteal esquerdo	0,28	6,56	0,12	0,00	-	2,26		
ZG3 galeria direita	0,00	0,00	0,01	0,00	-	-		
ZG4 hasteal direito	4,79	106,52	0	0,00	-	-	5,53	117,4
ZG4 hasteal esquerdo	5,35	115,21	0	0,00	-	-		
ZG4	6,45	147,82	0	0,00	-	-		
ZG4 filão de quartzo	-	-	-	-	10,41	-	-	226,08

Ensaio de Flexão

Em rocha de textura heterogénea e/ou que apresenta fissuras, os valores determinados podem ser bastantes diferentes. No método sob a carga centrada sucede muitas vezes que a ruptura não ocorre exactamente pelo meio do provete, do que resulta um momento de inércia inferior, correspondente a uma força de ruptura inferior e, consequentemente, uma resistência à flexão subavaliada.

O cálculo do valor da resistência à flexão sob carga centrada é efectuado pela seguinte expressão:

$$R_{ft} = \frac{(3 \times F \times l)}{(2 \times b \times h^2)} \quad [25]$$

Onde:

- F – carga máxima (em kN);
- l – vão (mm);
- b – largura do provete (mm);
- h – espessura dos provetes (mm).

O resultado de cada provete é expresso em MPa (N/mm²).

A resistência à flexão das amostras foi determinada (sempre que possível) através da média aritmética dos cinco melhores valores obtidos, dado que, por vezes, não se conseguiu o número de provetes suficientes para a realização dos ensaios de flexão, como por exemplo na zona ZGI, ZGII e ZGIIIB, visto tratar-se de material alterado a muito alterado (W4-5) e de material rochoso com planos de anisotropia bem evidenciados, dificultando/impossibilitando a seu corte.

No anexo III podemos observar os quadros dos resultados individuais obtidos para o ensaio de resistência à flexão, em cada zona geotécnica. Seguidamente, apresenta-se um quadro síntese dos valores obtidos para este ensaio, bem como a respectiva classificação relativamente à qualidade da rocha (Quadro 27).

Quadro 27 – Síntese da resistência à flexão sob carga centrada.

Zona Geotécnica	Litologia	Resistência à Flexão Sob Carga Centrada Rft (MPa)	Classificação
ZGI hasteal direito (8,40 m)	Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	1,8	Muito Baixa
ZGI hasteal direito (11,20 m)		9,1	Baixa
ZGII hasteal direito (23,60 m)	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	1,4	Muito Baixa
ZGII hasteal direito (23,60 m)	Metagrauwaques, medianamente alterada (W3)	0,5	Muito Baixa
ZGIII A hasteal esquerdo (33,40 m)		0,4	Muito Baixa
ZGIII B hasteal esquerdo (25,50 m)	corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	11,8	Média
ZGIII B hasteal esquerdo (28,10 m)		9,8	Baixa
ZGIII B hasteal esquerdo (29,25 m)		4,1	Baixa
ZGIV hasteal esquerdo (65,70)	Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada (W3)	12,0	Média
ZGIV hasteal esquerdo (67,70)		7,0	Baixa

5.5.3. Discussão dos resultados

Zona Geotécnica I (ZGI)

Nesta zona geotécnica, designada como ZGI, foram estabelecidas quatro estações geomecânicas “in situ” para o ensaio esclerométrico em descontinuidades, obtendo-se uma resistência à compressão uniaxial baixa, S_4 ($\approx 16 - 18$ MPa) e através do coeficiente de ressalto R obtivemos uma resistência à compressão baixa a média ($S_4 - S_3 \approx 14 - 22$ MPa).

Em laboratório efectuou-se um estudo sobre os provetes do material-rocha através da determinação do ressalto R e do ressalto Q. Todavia, não foi possível obter-se um valor da resistência à compressão devido ao elevado estado de alteração do material rocha, tendo-se designado por ensaio indeterminado (ei).

O Índice de Resistência à Carga Pontual obtido $Is(50)$, foi de 0,06MPa, na direcção perpendicular à xistosidade. Trata-se de um valor muito baixo, representativo do grau de alteração da rocha (W4-5). Não foi possível determinar o Índice de Resistência à Carga Pontual na maioria das amostras desta zona visto sofrerem desintegração total a quando da sua preparação laboratorial.

A Resistência à flexão sob carga centrada (R_{ft}) da presente zona geotécnica, foi obtida através de amostras das duas estações geomecânicas, ambas recolhidas no hasteal direito: aos 8,40 m obtivemos o valor de 1,8 MPa (perpendicularmente à xistosidade), obtendo uma classificação da qualidade da rocha muito baixa e aos 11,20 m o valor obtido foi de 9,1 MPa (perpendicularmente à xistosidade) obtendo uma classificação no sentido da qualidade da rocha baixa. Os valores obtidos nas duas estações desta zona geotécnica diferem bastante entre si, facto que atribuímos à proximidade do contacto com a zona geotécnica ZGII, de maior resistência.

Zona Geotécnica II (ZGII)

Nesta zona foram estabelecidas quatro estações geomecânicas “in situ” para o ensaio esclerométrico em descontinuidades, obtendo-se uma resistência à compressão uniaxial média, S_3 ($\approx 20-35$ MPa). Através da determinação do coeficiente de ressalto R a resistência à compressão é baixa a média ($S_4 - S_3 \approx 15 - 30$ MPa) e através do coeficiente de ressalto Q obtém-se uma resistência à compressão média ($S_3 \approx 25 - 55$ MPa).

Em laboratório realizamos um estudo sobre os provetes através dos coeficientes de ressalto R e Q, onde se obteve uma resistência à compressão média a baixa ($S_4 - S_3 \approx 15 - 51$ MPa) e uma resistência à compressão média ($S_3 \approx 22 - 58$ MPa), respectivamente.

O Índice de Resistência à Carga Pontual, $I_s(50)\perp$, obtido nesta zona geotécnica foi de 3,20MPa, perpendicularmente à xistosidade ($I_s(50)\perp$); o Índice de Resistência à carga Pontual, $I_s(50)\parallel$, obtido foi de 2,63MPa, paralelamente à xistosidade ($I_s(50)\parallel$). Este valor justifica-se pelas abundantes alternâncias de veios de quartzo, obtendo-se um Índice de Anisotropia $I_a(50)$ de 1,22MPa.

A resistência à flexão sob carga centrada (R_{ft}), obtida na presente zona geotécnica, foi de 1,4 MPa, perpendicularmente à xistosidade. Este valor justifica-se pela presença de quartzofilitos, visto que quanto maior é o grão de rocha menor é a resistência à flexão sob carga centrada, obtendo-se um material-rocha de muito baixa resistência.

Zona Geotécnica III (ZGIII)

Nesta zona geotécnica foram estabelecidas oito estações geomecânicas “in situ”, as quais nos conduziram a valores da resistência à compressão uniaxial muito elevada a baixa, S1-S4 (≈ 18 -27MPa). Através do coeficiente ressalto R a resistência à compressão obtida é baixa a média (S4 – S3 ≈ 15 – 38 MPa) e através do coeficiente de ressalto Q obtém-se uma resistência à compressão baixa a média (S3 – S4 ≈ 13 – 46 MPa).

Em laboratório realizamos um estudo sobre os provetes do material-rocha através da determinação dos coeficientes de ressalto R e Q, subdividindo-se esta zona geotécnica em duas zonas distintas, designadas por ZG3A e ZG3B. Na zona geotécnica ZG3A, através do coeficiente de ressalto R obtivemos uma resistência à compressão média (S3 ≈ 25 – 52 MPa) e através do coeficiente de ressalto Q obtivemos uma resistência à compressão baixa a média (S4 – S3 ≈ 16 – 58 MPa). Na zona geotécnica ZG3B o coeficiente de ressalto R obtido aponta para uma resistência à compressão média a elevada (S3 – S2 ≈ 64 – 160 MPa) e o coeficiente de ressalto Q foi estimado uma resistência à compressão elevada (S2 ≈ 65 – 115MPa).

O Índice de Carga Pontual foi calculado para ambos os hasteais (hasteal direito e hasteal esquerdo) e na travessa TEIII no hasteal direito aos 7,90 metros. No hasteal direito os Índices de Carga Pontual obtidos foram: ($I_s(50)\perp$) de 1,24MPa perpendicularmente à xistosidade, índice de resistência à carga pontual ($I_s(50)\parallel$) de 0,15MPa paralelamente à xistosidade, obtendo-se um Índice de Anisotropia ($I_a(50)$ de 8,37MPa; no hasteal esquerdo os Índices de Carga Pontual obtidos foram: ($I_s(50)\perp$) de 0,28MPa perpendicularmente à xistosidade e índice de resistência à carga pontual ($I_s(50)\parallel$) de 0,12MPa paralelamente à xistosidade. O Índice de Anisotropia ($I_a(50)$) obtido foi de 2MPa; na travessa TEIII aos 7,90 metros, o Índice de Carga Pontual obtido foi de ($I_s(50)\parallel$) de 0,01MPa paralelamente à xistosidade.

A resistência à flexão sob carga centrada (Rft) também foi determinada segundo a subdivisão da zona geotécnica ZG3 em ZG3A e ZG3B. Na ZG3A a resistência à flexão sob carga centrada foi calculada aos 40 m de extensão, no início da galeria direita (7,90 m) e aos 33,40 m no hasteal esquerdo, onde obtiveram valores na ordem dos 0,5 MPa e 0,4 MPa, permitindo uma classificação da qualidade da rocha muito baixa à resistência à flexão. Na ZG3B (hasteal esquerdo) calculou-se aos 25,50 m, 28,10 m e aos 29,25 m de extensão da galeria, tendo-se obtido 11,80 MPa, 9,8 MPa, 4,1 MPa, em que a classificação da qualidade da rocha varia de média a muito baixa. Os valores obtidos na ZG3A justificam-se pela presença de metagrauvaques medianamente alterados (w3), em comparação obteve-se valores mais elevados na ZG3B devido à presença de corneanas metapelíticas quartzosas medianamente alterada (W3) a pouco alteradas (W2). Todos os valores foram calculados perpendicularmente à xistosidade.

Zona Geotécnica IV (ZGIV)

Nesta zona geotécnica estabeleceram-se oito estações geomecânicas “in situ” nas quais se obteve a uma resistência à compressão uniaxial elevada a média, S2-S3 ($\approx 28-80$ MPa). Constatou-se que as litologias com valores mais baixos de resistência à compressão uniaxial, avaliada nos planos de diaclasamento, são os grauvaques (ZG3) e os xistos argilosos (ZG1) com alternância de quartzofilitos são a pouco alterado ($\approx 16-18,5$ MPa), classificando-se assim do tipo S4.

Segundo a classificação da ISRM (1981) os grauvaques (ZG3) ($\approx 18-27,0$ MPa) enquadram-se numa classe de resistência média a baixa (S3-S4). Os quartzofilitos (ZG2) tomam valores ($\approx 20-34,5$ MPa), enquadram-se numa classe de resistência média (S3) e, por fim, teremos as corneanas (ZG4) com um maior grau de resistência, tomando valores na ordem dos $\approx 28-80$ MPa e enquadram-se numa classe de resistência média a elevada (S3-S2). O coeficiente de ressalto R a resistência à compressão é médio ($S3 \approx 23 - 58$ MPa) e o coeficiente de ressalto Q apresenta uma resistência à compressão média a elevada ($S3 - S2 \approx 23 - 65$ MPa).

Em laboratório realizamos um estudo para determinar os valores de ressalto R e Q, nas duas zonas geotécnicas distintas designadas por ZG4A e ZG4B. Na zona geotécnica ZG4A o coeficiente de ressalto R aponta para uma resistência à compressão média ($S3 \approx 20 - 54$ MPa), e o coeficiente de ressalto Q aponta para uma resistência à compressão média ($S3 \approx 20 - 60$ MPa). Na zona geotécnica ZG4B o coeficiente de ressalto R determinado aponta para uma resistência à compressão elevada ($S2 \approx 64 - 80$ MPa), e o coeficiente de ressalto Q permitiu estimar uma resistência à compressão elevada ($S2 \approx 65 - 80$ MPa).

Efectuaram-se duas campanhas de recolha de amostras representativas das quatro zonas geotécnicas, para se proceder à realização do ensaio de carga pontual, em laboratório. Os Índices de Carga Pontual obtidos no hasteal direito é de $(I_s(50))_{\perp}$ de 4,79MPa na direcção ortogonal, hasteal esquerdo o índice de resistência à carga pontual foi de $(I_s(50))_{\perp}$ de 5,35MPa direcção ortogonal e ZG4, o índice de resistência à carga pontual $(I_s(50))_{\perp}$ de 6,45MPa, direcção ortogonal. Neste mesmo troço avaliou-se o Índice de Carga Pontual do filão de quartzo, tendo-se obtido um índice de resistência à carga pontual, $I_s(50)$, de 10,41MPa.

Os ensaios de carga pontual realizados perpendicularmente à xistosidade conduziram a valores mais elevados do que os ensaios realizados paralelamente à xistosidade. Também se verifica que a resistência à compressão simples é aproximadamente cerca de 20 a 25 vezes a resistência à carga pontual, como se pode verificar pelo (Quadro25).

No quadro 28 apresenta-se, para as diferentes zonas geotécnicas, uma comparação relativamente à classificação e classes de resistência (ISRM 1981), baseada nos valores do índice de resistência à carga pontual $I_s(50)_{\perp}$, realizado perpendicularmente aos planos de debilidade estrutural, e os valores obtidos no ensaio esclerométrico.

A resistência à flexão sob carga centrada (R_{ft}), na zona geotécnica ZG4 também foi avaliada segundo uma subdivisão em duas zonas geotécnicas, ZG4A e ZG4B, e em ambas o ensaio foi realizado perpendicularmente à xistosidade. Na ZG4A a resistência foi calculada aos 65,70 m de extensão da galeria e na ZG4B foi calculada aos 67,70 m, ambas no hasteal esquerdo. Os valores obtidos nas seguintes extensões foram 12,0 MPa e 7 MPa, permitindo uma classificação no sentido da qualidade da rocha média a baixa, respectivamente. Estes valores justificam-se pela presença de corneanas metapelíticas quartzosas medianamente alteradas (W3), verificando-se assim que quanto menor é a granularidade de rocha maior será a resistência.

O quadro 29 apresenta uma síntese dos resultados estatísticos básicos do ensaio de resistência à flexão sob carga concentrada nos hasteais do maciço metassedimentar fracturado em função das zonas geotécnicas.

Quadro 28 – Síntese das classificações obtidas nos diferentes ensaios geomecânicos realizados, (ei – ensaio indeterminado).

Zonas geotécnicas		Litologia	Ensaios esclerométricos				Ensaio Carga Pontual (\perp) (MPa)	Ensaio Resistência à Flexão sob Carga Centrada	
			Martelo Schmidt	Martelo Silverschmidt					
				"in situ" R	"in situ" Q	Lab. R			Lab.Q
ZGI		Xisto alterado a muito alterado (W4-5)	Baixa (S4)	Baixa - Média (S4 -S3)	ei	ei	ei	Muito Baixa (S5)	Muito Baixa a Baixa
ZGII	ZGII A	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	Média (S3)	Baixa - Média (S4 -S3)	Média (S3)	Baixa - Média (S4 - S3)	Média (S3)	Média (S3)	Muito Baixa
	ZGII B	Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)	Média (S3)					Elevado (S2)	
ZGIII	ZGIII A	Metagrauvaques , medianamente alterada (W3)	Baixa (S4)	Baixa - Média (S4 -S3)	Baixa - Média (S4 - S3)	Média (S3)	Baixa - Média (S4 - S3)	Baixa (S4)	Muito Baixa
	ZGIII B	Corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)	Baixa - Média (S4 - S3)			Média - elevada (S3 - S2)	Elevada (S2)	Baixa (S4)	Média a Baixa
ZGIV	ZGIV A	Corneanas quartzosa, medianamente alterada (W3)	Média - Elevado (S3 - S2)	Média (S3)	Média - Elevada (S3 - S2)	Média (S3)	Média (S3)	Elevado (S2)	Média
	ZGIV B	Corneana metapelítica, medianamente alterada (W3)				Elevada (S2)	Elevada (S2)		Baixa
Filão Quartzo	Quartzo		Muito Elevado (S1)					Muito Elevado (S1)	

Quadro 29 – Síntese dos resultados estatísticos básicos do ensaio de resistência à flexão sob carga concentrada.

Zonamento geotécnico	ZGI hasteal direito (8,40 m)	ZGI hasteal direito (11,20 m)	ZGII hasteal direito (23,60 m)	ZGIII A entrada galeria direita (7,90 m)	ZGIII B hasteal esquerdo (25,50 m)	ZGIII B hasteal esquerdo (28,10 m)	ZGIII B hasteal esquerdo (29,25 m)	ZGIII A hasteal esquerdo (33,40 m)	ZGIV hasteal esquerdo (65,70)	ZGIV hasteal esquerdo (67,70)
Valor Médio (MPa)	1,8	9,1	1,4	0,5	11,8	9,8	4,1	0,4	12	7
Desvio Padrão	1,3	3,0	0,7	0,9	3,4	1,3	2,0	0,8	2,4	2,6
Coefficiente de variação	0,8	0,3	0,5	2	0,3	0,1	0,5	1,9	0,2	0,4
Valor Máximo	2,9	13,8	1,6	0,8	17,6	16,7	5,5	0,6	17,4	9,3
Valor Mínimo	1,1	7,5	1,1	0,4	9,1	6,3	2,9	0,1	7,8	5,5
Valor Mínimo Esperado (MPa)	0,1	4,8x10 ⁻⁴	0,0	6,28x10 ⁻⁵	6,41x10 ⁻⁵	5,54x10 ⁻⁵	0,040000	0,00141	0,66	5,15x10 ⁻⁴

Na zona geotécnica ZGI observa-se um xisto argiloso o alterado a muito alterado (W4-5), o que justifica obtermos uma classe de resistência S5–S4 (muito baixa a baixa) para o ensaio com martelo Schmidt e para ensaio carga pontual. No estudo do coeficiente de ressalto R , “in situ”, obteve-se uma classe de resistência S4 – S3 (baixa a média) e, tanto no estudo do coeficiente de ressalto “in situ” como em laboratório, o ensaio foi indeterminada (ei). No ensaio de flexão sob carga centrada obteve-se uma classificação da qualidade da rocha muito baixa à resistência.

A zona geotécnica ZGII foi subdividida em duas zonas geotécnicas designadas por ZGII A e ZGII B para os ensaios com o martelo de Schmidt e o de ensaio carga pontual:

- i) em ZGIIA obteve-se uma classe de resistência S_3 (média), sendo os ensaios realizados sobre xisto argiloso são a pouco alterado;
- ii) em ZGIIB, através do ensaio de Carga Pontual, obteve-se uma classe de resistência S_2 (elevada) visto que ao realizarmos o ensaio em quartzofilitos, perpendicularmente à xistosidade, intersectou-se finos veios de quartzo, tendo-se obtido uma maior resistência. No estudo do coeficiente de ressalto R e Q , “in situ” e em laboratório com o martelo *SilverSchmidt*, obteve-se uma classe de resistência $S_4 – S_3$ (baixa a média).

No ensaio de flexão sob carga centrada determinou-se uma qualidade da rocha baixa.

A zona geotécnica ZG3 foi subdividida em duas zonas geotécnicas designadas por ZGIII A e ZGIII B:

- i) na ZGIII A, nos ensaios esclerométricos (martelos *Schmidt* e *SilverSchmidt*) e de carga pontual, obtivemos uma classe de resistência baixa a média ($S_4 - S_3$). Quanto ao ensaio de flexão sob carga centrada obtivemos uma classificação da qualidade da rocha muito baixa à resistência.
- ii) na ZGIII B, no ensaio esclerométrico, obtivemos uma classe de resistência S_4-S_3 (baixa a média) e no estudo do coeficiente de ressalto R e Q , em laboratório, obteve-se uma classe de resistência média a elevada ($S_3 – S_2$) e elevada (S_2); no ensaio de carga pontual, obtivemos uma classe de resistência S_4 (baixa), o que se justifica pela presença de corneanas metapelíticas quartzosas medianamente alteradas (W_3). O ensaio de flexão sob carga centrada permitiu classificar o material-rocha com uma qualidade média a baixa resistência.

A zona geotécnica ZGIV está integrada na classe de resistência S_3-S_2 (média a baixa), justificada pela presença de corneanas quartzosas medianamente alteradas (W_3), tanto no ensaio com o martelo de *Schmidt* como no ensaio de carga pontual. No estudo do coeficiente de ressalto R e Q , em laboratório com o *SilverSchmidt*, a presente zona geotécnica foi subdividida em duas zonas distintas: ZGIV A e ZGIV B. Na ZGIV A obtivemos uma classe de resistência S_3 (média), quanto ao ensaio de flexão sob carga centrada obtivemos uma classificação no sentido da qualidade da

rocha média. Na zona geotécnica ZGIV B obtivemos uma classe resistência S₂ (elevada), justificada pela presença das corneanas metapelíticas, medianamente alterada (W₃).

Em relação ao filão de quartzo ensaiado, através do ensaio esclerométrico (martelo *Schmidt*) e do ensaio de carga pontual, obtivemos uma classe de resistência S₁ (elevada), como seria de esperar. Através desta análise, podemos concluir que os ensaios esclerométricos (martelos *Schmidt* e *SilverSchmidt*) e o ensaio de carga pontual são na generalidade, concordantes entre si. No ensaio de flexão sob carga centrada obtivemos uma classificação da qualidade da rocha baixa a muito baixa à resistência.

5.6. Breve estimativa de custos associado ao estudo

O presente trabalho enquadra-se num estudo sobre a avaliação da resistência geomecânica do material-rocha do maciço subterrâneo das antigas galerias da Mina das Aveleiras. Deste modo, o presente projecto estruturou-se, em linhas gerais, da seguinte forma: uma breve caracterização geológico-geotécnica e geomecânica dos maciços rochosos em geral, descrição das principais metodologias e técnicas sobre ensaios geomecânicos (em particular, ensaios esclerométricos, ensaio de carga pontual e ensaio de resistência à flexão sob carga centrada) e umas breves notas sobre métodos de exploração de minas. Além disso, pretende contribuir para a caracterização da compartimentação de maciços rochosos fracturados tendo em vista a comparação, as limitações e as potencialidades dos ensaios geomecânicos referidos.

O equipamento mais utilizado, entre outro, para a boa execução do presente estudo foi o seguinte: máquina fotográfica digital, fita métrica, bússola de geólogo, martelo de geólogo, esclerómetros portáteis (martelos de *Schmidt* e de *SilverSchmidt*), Máquina de corte de rocha, Máquina de Ensaio de Carga Pontual, e Máquina de Ensaio de Resistência à Flexão, paquímetro, bem como todo o equipamento geocientífico necessário para o registo de inventário.

O quadro 30 pretende esquematizar todas as considerações anteriormente enunciadas sobre uma estimativa em termos de custos, para a realização deste trabalho com o estatuto de engenheiro geotécnico júnior e integrado numa equipa técnica.

Desta forma e atendendo às recomendações, quer da *Ordem dos Engenheiros* quer da *Associação Portuguesa de Geólogos*, pode ser apontado o orçamento base de 5.650 Euros (€), sem IVA incluído, e com um prazo de execução de nove (9) meses, incluindo relatório técnico-científico. Este valor corresponde aos custos orçamentados para a execução do trabalho, excluindo os custos associados à aquisição ou aluguer de equipamento técnico e informático diverso.

Quadro 30 – Estimativa de custos (s/ IVA, €) do trabalho em fase das diferentes fases de execução do estudo.

Meses		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	Custos €
Recolha de Bibliografia	Regional/Especializada	■	■	■							400
Geotecnia	Reconhecimento em campo		■	■	■						450
	Amostragem					■	■				
Ensaaios Laboratoriais	Tratamento laboratorial					■	■				3000
	Representação e tratamento de dados						■	■			
Relatório final	Redação do relatório técnico-científico							■	■	■	1800
Total											5650

6

Conclusões

6. CONCLUSÕES

Do desenvolvimento deste estudo geomecânico experimental efectuado no maciço rochoso fracturado da minas das Aveleiras, e tendo em conta os objectivos pré-definidos, podemos concluir que:

- Globalmente, os resultados do ensaio de carga pontual são concordantes com os valores dos ensaios esclerométricos. A unidade dos xistos argilosos apresenta uma resistência global de muita baixa a baixa, quando o ensaio é realizado perpendicular aos planos de fraqueza estrutural (xistosidade). A unidade dos quartzofilitos exhibe uma resistência global de baixa a média. Os metagrauvaques apresentam uma resistência global de baixa a média, quando o ensaio é realizado perpendicular aos planos de fraqueza estrutural. As corneanas metapelíticas e quartzosas, segundo a direcção perpendicular à xistosidade, exibem uma resistência global média a elevada; o filão de quartzo apresenta valores na ordem dos 220 MPa (resistência muito elevada).
- Como podemos constatar, estes resultados estão contidos no intervalo de valores obtidos através do martelo de *Schmidt*, em que o ensaio é efectuado perpendicularmente e paralelamente às descontinuidades (xistosidade e/ou diaclases). Uma vez que estes planos de anisotropia são praticamente perpendiculares à xistosidade regional dos metassedimentos o ensaio do martelo de *Schmidt* equivale ao ensaio de carga pontual.
- Com os resultados obtidos consideramos que temos um maciço com boa resistência mecânica, no entanto a galeria da zona geotécnica definida como ZG3 encontra-se instável, com possibilidade de queda de blocos do tecto, resultante da intensa fracturação do maciço rochoso, pois a sua resistência ao corte está essencialmente dependente das descontinuidades.
- O martelo *Schmidt* permite estimar de forma aproximada a resistência à compressão simples mediante uma correlação sendo aplicada fundamentalmente à matriz rochosa, ou seja trata-se de um método rápido, económico e não destrutivo. O ensaio com o martelo *Schmidt* é de extrema importância para a caracterização do material rochoso, sendo a metodologia deste ensaio esperada para garantir uma aquisição de dados fiáveis e, se necessário, análise no próprio local (*in situ*). A principal vantagem deste ensaio reside na sua simplicidade e na sua aplicação no campo, durante o reconhecimento do maciço, sobre superfícies sem preparação prévia e repetindo-o um elevado número de vezes.

- Para o ensaio de Carga Pontual é concebido um Índice que permite a classificação das rochas, estreitamente correlacionável com a resistência à compressão uniaxial e com outros índices de resistência. Este ensaio conduz à determinação de dois índices, tais como o Índice de Resistência à Carga Pontual ($I_s(50)$) e o Índice de Anisotropia ($I_a(50)$). É um ensaio em que os resultados são mais aferidos, em testemunhos de ensaio, não sendo indicado para rochas decompostas ou friáveis.
- Os resultados dos ensaios de flexão são afectados, sobretudo em materiais frágeis, por diversos factores como o tipo e velocidade de aplicação da força de ensaio, o comprimento do vão entre apoios e as dimensões da secção transversal do provete. Por exemplo, a força do ensaio aplicada no centro conduz a valores de resistência à flexão mais elevados.
- Em provetes com a mesma secção e dimensão, quanto menor for a distância entre apoios, mais elevado é o módulo de rotura obtido. Finalmente, do mesmo modo que na tracção e na compressão, quanto maior for a velocidade de aplicação da força, mais elevada é a resistência à flexão.

Tendo em consideração os objectivos deste trabalho, aconselham-se que os estudos futuros possam recair, nomeadamente, sobre:

- Estudos de cartografia geológico-estrutural e de cartografia geotécnica, a escalas convenientes, noutras galerias da mina da Mina das Aveleiras;
- Estudos de pormenor de fracturação e de geomecânica do maciço de Tibães noutras galerias/travessas da Mina das aveleiras;
- Execução de um estudo estatístico aplicado aos resultados obtidos e sua validação;
- Estudos geotécnicos de pormenor, quer ao nível da modelação geomecânica do maciço recorrendo a programas de cálculo de elementos finitos quer ao nível dos ensaios de laboratório geomecânicos.

Referências Bibliográficas

7. Referências Bibliográficas

- Aires-Barros, L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 384 pp.
- Alves, H. (2006a). Breve historial do desenvolvimento técnico mineiro oitocentista. In: Modelos de Minas do Séc. XIX: engenhos de exploração mineira. Museu Mineiro do Lousal / Instituto Superior Técnico. pp. 33 - 45.
- Alves, H. (2006b). Introdução aos sistemas de mineração. In: Modelos de Minas do Séc. XIX: engenhos de exploração mineira. Museu Mineiro do Lousal / Instituto Superior Técnico. pp. 54 - 64.
- Aydin, A. & Basu, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 41: 1211–14.
- Barroso, F. (2006a). A evolução da exploração de minas. In: Modelos de Minas do Séc. XIX: engenhos de exploração mineira. Museu Mineiro do Lousal / Instituto Superior Técnico. pp. 33 – 45.
- Barroso, F. (2006b). Plano de lavra e métodos de exploração. In: Modelos de Minas do Séc. XIX: engenhos de exploração mineira. Museu Mineiro do Lousal / Instituto Superior Técnico. pp. 66 - 69.
- Bock, H. (2006). Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 65: 209-216.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T. (2004). Rock mechanics for underground mining. Kulwer Academic Publishers, Dordrecht. 628 pp.
- Brown, E. T. (1991). Da teoria à prática em mecânica das rochas. *Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros*, Lisboa, Ano IV (48): 9-29.
- Cargill J.S. & Shakoor A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 27: 495–503.
- CFCFF—Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.

Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I. (2004). O papel da fracturação e da alteração profunda em estudos de prospecção hidrogeológica: os casos das regiões de Oliveira de Azeméis e de Fafe (Maciço Ibérico, NW de Portugal). *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*, 16: 13-31.

Chaminé, H. I. & Gaspar, A. F. (1995). Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde. *Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto*, 37: 97-111.

Chaminé, H. I.; Dias, A. G. & Dinis da Gama, C. (2001). Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal). *Geociências, Revista da Universidade de Aveiro*, 15: 79-92.

Davis, G. & Reynolds, S. T. (1996). *Structural geology of rocks and regions*. 2nd edition, John Wiley & Sons, 776 pp.

Dias, G.; Leterrier, J.; Mendes, A.; Simões, P. P. & Bertrand, J. M. (1998). U-Pb zircon and monazite geochronology of post-collisional Hercynian granitoids from the Central Iberian Zone (Northern Portugal). *Lithos*, 45, 1/4: 349-369.

Dias, G.; Ferreira, N.; Simões, P. & Mendes, A., (2000a). Syn-and late-tectonic plutonism Braga region (Field trip 1). In: Dias, G.; Noronha, F. & Ferreira, N. (eds.), *Variscan plutonism in the Central Iberian Zone, Northern Portugal, Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book*, UM/FCUP/IGM. pp. 27-65.

Dias, G.; Noronha, F. & Ferreira, N. (2000b). Introduction [Variscan plutonism in the Central Iberian Zone]. In: Dias, G.; Noronha, F. & Ferreira, N. (eds.), *Variscan plutonism in the Central Iberian Zone, Northern Portugal, Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book*, UM/FCUP/IGM. pp. 7-26.

Dinis da Gama, C. (1991). Qualidade e patologia de obras geotécnicas. 4^o Congresso Nacional de Geotecnia, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 3: 1-20.

Dinis da Gama, C. (1995). Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de Canteras. In: López .

Dinis da Gama, C.; Arrais, C. & Santos, C. (1992). Dimensionamento racional de suportes em minas de carvão. *Geotecnia, Revista da Associação Portuguesa de Geotecnia*, Lisboa, 66: 45-62.

Feio, M. (1949). Notas geomorfológicas: III. Capturas na bacia do Cavado. *Bol. Soc. Geol. Portg., Porto*, 8: 73-78.

Ferreira, N.; Iglésias, M.; Noronha, F.; Pereira, E.; Ribeiro, A. & Ribeiro, M. L., 1987. Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea; A. Carnicero; J. C. Gonzalo; M. López Plaza & M. D. Rodríguez Alonso (eds). *Geología de los granitóides y rocas*

asociadas del Macizo Hespérico (Libro de Homenaje a L. C. García de Figuerola). Editorial Rueda. Madrid. pp. 37-51.

Ferrer, M. & González de Vallejo, L. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Publicaciones ITGE, Madrid. 81 pp, 41 fotografías.

FFV-MML – Fundação Frédéric Velge / Museu Mineiro do Lousal (2006). Modelos de Minas do Séc. XIX: engenhos de exploração mineira. Museu Mineiro do Lousal / Instituto Superior Técnico. 394 pp.

González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

Goodman, R. (1993). Engineering geology: rock in engineering construction. John Wiley & Sons, New York, 412 pp.

GSE - Geological Society Engineering Group Working Party Report (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28 (3): 207-242.

Hack, R.; Azzam, R. & Charlier, R. (2004). Engineering geology for infrastructure planning in Europe: a european perspective. Lecture Notes in Earth Sciences, vol. 104. Springer-Verlag, Berlin. 801 pp.

Hart, D. J. & Wang, H. F. (1995). Laboratory measurements of a complete set of poroelastic moduli for Berea Sandstone and Indiana Limestone. J. Geophys Research, 100 (9): 17741-1751.

Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. News Journal of ISRM, 2, 2: 4-16.

Hoek, E. (2007). Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.

Hoek, E. & Brown, E. T. (1980). Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy, London, 243 pp.

Hoek, E. & Brown, E. T. (1995). Underground excavations in rock. 2nd edition, Institution of Mining and Metallurgy, London, 627 pp.

Hoek, E. & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science, 34 (8): 1165-1186.

Hudson, J. A & Priest, S. D. (1983). Discontinuity frequency in rock masses. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 20: 73-89.

Hucka, V. (1965). A rapid method of determining the strength of rocks *in situ*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 2: 127-134.

IAEG – International Association Engineering Geology (1981a). Recommended symbols for engineering geological mapping. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 24: 227-234.

IAEG – International Association Engineering Geology (1981b). Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 24: 235-274.

ISRM–International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 15, 6: 319-368.

ISRM–International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.

ISRM–International Society for Rock Mechanics (1985). Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 22: 51-60.

ISRM–International Society for Rock Mechanics (2007). The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.

Jimeno, C. L. (2003). Manual de túneles y obras subterráneas. ETSIM, Univ. Polit. Madrid. 1082 pp.

Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 38: 981–94.

Kahraman, S., Fener M. & Gunaydin O. (2002). Predicting the Schmidt hammer values of *in-situ* intact rock from core sample values. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 39: 395-399.

Katz, O., Rechesa, Z. & Roegiersc J.-C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 37: 723-728

Schmidt, E. (1951). A non-destructive concrete tester. Concrete, 59 (8): 34-35.

LABCARGA – Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (2007/08). Mina das Aveleiras: estudo geológico-geotécnico e projecto da estrutura de reforço e de protecção. Relatório para o Mosteiro de S. Martinho de Tibães, Instituto Português do Património Arquitectónico. Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 5 volumes + 4 anexos. (relatório inédito).

Lamas, L. N. (1989). Estudo da compartimentação de maciços rochosos por uma técnica de amostragem linear e dos blocos formados pelas descontinuidades: aplicação a uma galeria do

Alto Lindoso. In: 3º Congresso Nacional Geotecnia, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 3: C33-C44.

Lopes, M.E. (*in prep.*). Geoconservação, geodiversidade e património geológico-mineiro: os casos dos subterrâneos do Porto e da mina das Azeiteiras (Braga). Universidade de Coimbra. (em preparação).

Pinto A. C., A. A. A., Moura A. A. C. A., Henriques A. M. E., Carvalho C. I. P., Ramos J.M. F., Mestre N. C. A. V.(2006). Manual de Pedra Natural para Arquitectura. Direcção Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação Ordem dos Arquitectos, 199 pp.

Manual da PROCEQ (2007). Schwerzenbach.

Martins, R.; Moreira, P.; Santos Pereira, C.; Neto, E.; Pereira, A. M.; Teixeira, J.; Vieira, A. & Chaminé, H. I. (2006). A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no Norte de Portugal. In: Actas do 10 º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia /Univ. Nova de Lisboa, 1: 255-264.

Mazzoccola, D. F.; Millar, D.L. & Hudson, J. A. (1997). Information, uncertainty and decision making in site investigation for rock engineering. *Geotechnical and Geological Engineering*, 15: 145-180

Meixedo, J.P., Lopes, M.E., Neto, E.P., Afonso, M.J., Gama Pereira, L.C., Dias Costa, M.J., Trigo, J.F.C., Chaminé, H.I. (2008). Sustainable conversion processes of mining heritage in a second life cycle: a geoconservation perspective. In: *Proceedings of the Business Sustainability Conference, Management, Technology and Learning for Individuals, Organisations and Society in Turbulent Environments*. UM/ISEP/ IPCA, Ofir. 10 pp. (Cd-Rom).

Miranda, T. (2003). Contribuição para a obtenção de parâmetros geomecânicos para a modelação de obras subterrâneas em maciços graníticos. Universidade do Minho, Guimarães, 186 pp. (Tese de Mestrado).

Neto, E.P. (2007). Estudo geológico e geomecânico em antigas explorações mineiras: o caso da mina das Azeiteiras. Universidade de Aveiro. (Tese de Mestrado).

Norma Europeia, EN 12372; versão Dezembro 2006, procedimento da determinação da resistência à flexão sob carga centrada.

Oliveira, R., (1990). Geologia de Engenharia: notas de aulas do curso de mestrado de geologia de engenharia. Universidade Nova de Lisboa, Costa da Caparica. (policopiado).

Peacock, D. C. P.; Harris, S. D. & Mauldon, M. (2003). Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencies. *J. Struct. Geol.*, 25: 109-119.

Palmström, A. (1995). RMI: a rock mass characterization system for rock engineering purposes. University of Oslo, 400 pp. (tese de doutoramento).

- Pereira, C. M.S.; Chaminé, H. I.; Vieira, A. R.; Teixeira, J.; Gomes, A. & Fonseca, P. E. (2005). Geologia estrutural e geotecnia do maciço granítico do Alto da Cabeça Santa (NW de Portugal): implicações para a gestão do georrecurso da pedreira da Mimosa. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Corunã*, 30: 40-65.
- Pinto e tal. (2006).
- Priest, S. D. & Hudson, J. A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 183-197.
- Proceq (2007).
- Ramos, L. (2008). Avaliação geotécnica e geomecânica de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. Tese de Mestrado.
- Ramos, T. M. (2008). Ensaios esclerométrico e de carga pontual em maciços metassedimentares fracturados. Departamento de Engenharia Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Relatório de Licenciatura de Projectos e Estágios. (Relatório inédito).
- Ramsay, J. R. & Huber, M. I. (1983). The techniques of modern structural geology. Vol 1: Strain analysis. Academic Press Limited. London. 307 pp.
- Ramsay, J. R. & Huber, M. I. (1987). The techniques of modern structural geology. Vol 2: Folds and fractures. Academic Press Limited. London. 700 pp.
- Ribeiro et al. (1990).
- Rocha, M. (1981). Mecânica das Rochas. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- Simões Cortez, J. A., (1965). Métodos de exploração por desabamento (exposição crítica). *Estudos Notas e Trabalhos do Serviço Fomento Mineiro*, 37 (1-2): 5-338.
- Teixeira e tal. (1993).
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice. Second edition, John Wiley and Sons, New York.
- Terzaghi, R. D. (1965). Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, 15: 287-304.
- UNESCO (1976). Engineering geological maps: a guide to their preparation. UNESCO Press, Paris.
- Vidal Romani, J. R. & Twidale, C. R. (1999). Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. *Geomorphology*, 31 (1-4): 13-27.
- Yassar, E. & Erdogan, Y. (2004). Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods. *Engineering Geology*, 71: 281–88.

Zuquette, L. V. & Gandolfi, N., (2004). Cartografia geotécnica. Oficina de textos, Brasil, 189 pp.

Sites da Internet consultados

<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/134194/1/Dissertacao.pdf>, (consulta em Outubro 2008)

[http://dminas.ist.utl.pt/OG2009/Documentos%20Complementares/Congresso%20Geotecnia%20\(resumos\)/](http://dminas.ist.utl.pt/OG2009/Documentos%20Complementares/Congresso%20Geotecnia%20(resumos)/), (consulta em Novembro 2008).

<http://cegeo.ist.utl.pt/html/investiga/com070.pdf>, (consulta em Novembro 2008).

<https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/134194/1/Dissertacao.pdf>, (consulta em Novembro 2008).

http--www_prweb_com-releases-2008-01-prweb629301_ficheiros\translate_c.htm, (consulta em Novembro 2008).

www.proceq.com, (consulta em Janeiro 2008).

http--www_enkaymachine_com-proceq6.htm, (consulta em Março 2008).

<http://www.silverschmidt.com/site/sitemap>. (consulta em Janeiro 2009).

<http://www.proceq.com/produtos/teste-de-concreto/martelo-de-teste-de-concreto/silverschmidt.html?L=6c>, (consulta em Abril 2009).

<http://www.MARTELO SILVERSCHMIDT\O Q-Value.mht>, (consulta em Maio 2009).

ANEXOS

Anexo I – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas aos Ensaios de Esclerométricos.

Anexo II – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual.

Anexo III – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas ao Ensaio de Resistência à Flexão sob Carga Centrada.

Anexo I – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas aos Ensaios de Esclerométricos.

Legenda:

ei:	ensaio inválido
nd :	Ensaio não determinado
10 Q :	Média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto Q
5 Q :	Média aritmética das 5 leituras do coeficiente Q com maior velocidade de ressalto
10 R :	Média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto R
5 R :	Média aritmética das 5 leituras do coeficiente R com maior velocidade de ressalto
10 σ (MPa) Q (Ábaco Miller) :	Resistência à compressão obtida através do Ábaco Miller, apartir da média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto Q.
10 σ (MPa) Q :	Resistência à compressão obtida através das curvas de conversão segundo o manual do SilverSchmidt, apartir da média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto Q.
5 σ (MPa) Q (Ábaco Miller) :	Resistência à compressão obtida através do Ábaco Miller, apartir da média aritmética das 5 leituras do coeficiente Q com maior da velocidade de ressalto .
10 σ (MPa) R (Ábaco Miller) :	Resistência à compressão obtida através do Ábaco Miller, apartir da média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto R.
10 σ (MPa) R :	Resistência à compressão obtida através das curvas de conversão segundo o manual do SilverSchmidt, apartir da média aritmética das 10 leituras do coeficiente da velocidade de ressalto R.
5 σ (MPa) R (Ábaco Miller) :	Resistência à compressão obtida através do Ábaco Miller, apartir da média aritmética das 5 leituras do coeficiente R com maior da velocidade de ressalto .

Esclerómetro Portátil (Martelo de Schmidt, Proceq Tipo L)

Mosteiro de Tibães - Mina das Azeleiras

GEOMECÂNICA

LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP

Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Grau de Alteração (W)	Tipo de Descontinuidade	Atitude		Obs.	Litologia	Painel	Orientação do Martelo	Leitura nº										Média dos 5 melhores resultados	Densidade média da rocha (kN/m³)	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Classe de Resistência (ISRM 1981)	Classificação da Resistência (ISRM 1981)	Zonas Geotécnicas
				Dir. N_E	Inc.					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1	1,6	W4	D	N29	86NW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	14	12	14	11	12	10	10	12	12	12	12,8	25	16,2	S4	Baixa	ZG1
2	5	W4	X	N140	12SW		Xisto argiloso	Hasteal W	▲	21	22	22	22	21	22	24	20	26	20	23,2	25	21	S4/S3	Baixa a Média	
3	5,4	W4	D	N18	80NW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	14	10	11	10	10	10	12	16	13	15	14	25	17,5	S4	Baixa	
4	9,7	W3	F	N174	14SW	Caixa de falha argilosa	Xisto argiloso	Hasteal W	▲	20	21	12,5	11	13,5	22,5	14,5	17	20	15	20,1	25	18,2	S4	Baixa	
5	15,1	W3	D	N32	80SE		Xisto argiloso/Quartzofilito	Hasteal W	◀	11,5	14	17	12	12	14	13,5	17	16,5	20	16,9	25	20,3	S3	Média	ZG2
6	16,5	W2	X	N110	40SW		Quartzofilito	Tecto	/ ◀	24,5	28,5	29	22,5	23,5	16	26	26	29,5	19,5	27,8	26	32	S3	Média	
6a	19,55	W4	D	N18	83SW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	28	30	20	12	26	18	26	17	23	21	26,6	25	34,06	S3	Média	
7	20,3	W3	D	N16	88SE		Corneana	Hasteal W	◀	17,5	13,5	20	20	15	22	19	31	21,5	22	23,3	27	31,3	S3	Média	
8	23	W3	D	N34	86SE		Grauvaque	Hasteal W	◀	12	14	10,5	9,5	14	14,5	14	14	12	10,5	14,1	26	18,2	S4	Baixa	ZG3
9	24,3	W4	X	N132	8SW		Grauvaque	Hasteal W	▲	16	15	17	17	16,5	20	22	18	19	21	20	26	18,3	S4	Baixa	
10	30,5	W3	F	N162	6SW		Grauvaque	Hasteal W	▲	23	25	27	28	19	26	26	22	22	20	26,4	26	25,7	S4/S3	Baixa a mMédia	
11	32	W2	X	N157	85NE		Grauvaque	Hasteal W	◀	14	14	17,5	16	15,5	18,5	17	18	16	20	18,2	26	23,1	S4/S3	Baixa a mMédia	
11a	33,5	W3	X	N2	28SE		Grauvaque e corneana	Hasteal E	▲	21	23	22	22	26	26	25	24	27	20	25,6	26	25,2	S4/S3	Baixa a mMédia	
11b	33,5	W3	X	N163	80NE		Grauvaque e corneana	Hasteal W	◀	15	14	15	15	11	14	13	11	14	16	15	26	18,75	S4	Baixa	
12a	35	W3	X	N18	118SW		Grauvaque e corneana	Hasteal W	▼	18	20	18	19	14	14	20	16	18	17	19	26	26,52	S4/S3	Baixa a mMédia	
12	36,6	W1	F	N176	84NE	Filão de quartzo	Quartzo	Hasteal W	◀	65	64	35	53	60	51	69	66	65	54	65,8	26,5	240	S1	Elevada	
13	43,2	W3	D	N18	88NW		Corneana metapelítica	Hasteal E	◀	15	15	21	16	14	18	20	19	19	28	21,4	27	28,1	S3	Média	ZG4
14	50,95	W3	D	N50	82NW		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	16	21	30	24,5	21	25	23	20	26	16	25,7	27	36	S3	Média	
15	56,84	W3	D	N41	78NW		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	13	20	18,5	22	19,5	13	24	22	20,5	20	21,7	27	27,5	S3	Média	
16	59,2	W3	D	N43	83SE		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	20	17	25	34	24	39	48	30	48	25	39,8	27	78	S2	Elevada	
16a	60,9	W2	D	N10	44NE		Corneanas	Galeria lado W	▼	16	20	28	24	20	22	27	25	22	23	25,4	27	39,5	S3	Média	
16a	61	W2	D	N37	52SE		Corneanas	Hasteal W	▼	16	12	10	22	24	26	17	18	12	14	21,4	27	31,87	S3	Média	
17	62,5	W2	D	N10	78SE	Argila endurecida + quartzo	Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	26	17	29	23	31	33,5	44	27	39,5	32	36	27	63	S2	Elevada	
18	70	W2	D	N39	86NW		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	39	36	29	14,5	41	26,5	39	39	30,5	42	40	27	79	S2	Elevada	

D - diacase
X - xistosidade
F - falha

Nota: as diaclasses apresentam, em regra, óxidos de ferro e manganês, algum quartzo e por vezes argila endurecida.

Densidade média: compilada de Goodman (1989), Waltham (1999), González de Vallejo et al. (2002).

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
GEOMECÂNICA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Grau de Alteração (W)	Tipo de Descontinuidade	Atitude		Obs.	Litologia	Painel	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de ressalto	Leitura nº										Q				R				Classe de Resistência Q		Classificação da Resistência Q		Classe de Resistência R		Classificação da Resistência R		Zonas Geotécnicas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				Dir. N_E	Inc.						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 Q	5 Q	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q	10 R	5 R	Densidade média da rocha (Ábaco Miller) (kN/m³)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	1,6	W4	D	N29	86NW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)																																							
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras																																							
GEOMECÂNICA																																							
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP																																							
Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Grau de Alteração (W)	Tipo de Descontinuidade	Atitude		Obs.	Litologia	Painel	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de ressalto	Leitura nº										Q				R				Classe de Resistência Q		Classificação da Resistência Q		Classe de Resistência R		Classificação da Resistência R		Zonas Geotécnicas		
				Dir.	N_E						Inc.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 Q	5 Q	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q	10 R	5 R	Densidade média da rocha (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)			
1	1.6	W4	D	N29	86NW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG1			
										R	14	12	14	11	12	10	10	12	12	12	12					11.9	12.80	25	14.00	16.20					S4		S4	Baixa	Baixa
2	5	W4	X	N140	12SW		Xisto argiloso	Hasteal W	▲	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		ZG2		
										R	21	22	22	22	21	22	24	20	26	20						22	23.20	27	22.00	23.90					S3			S3	Média
3	5.4	W4	D	N18	80NW		Xisto argiloso	Hasteal W		Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG3		
										R	14	10	11	10	10	10	12	16	13	15						12.1	14.00	25	15.00	17.5					S4	S4		Baixa	Baixa
4	9.7	W3	F	N174	14SW	sa de falha argil	Xisto argiloso	Hasteal W	▲	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG4		
										R	20	21	12.5	11	13.5	22.5	14.5	17	20	15						16.7	20.10	25	19.90	19.90					S4	S4		Baixa	Baixa
5	15.1	W3	D	N32	80SE	p argiloso/Quartzo	Xisto argiloso	Hasteal W	◀	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG5		
										R	11.5	14	17	12	12	14	13.5	17	16.5	20						14.75	16.90	25	15.00	20.30					S4	S4		Baixa	Baixa
6	16.5	W2	X	N110	40SW		Quartzofilito	Tecto	/ ◀	Q	47	29.5	51	35.5	39.5	39.5	48	38	44.5	33.5	40.60	45.00	50.06	65.20						S3	S2	Média	Elevada					ZG6	
										R	24.5	28.5	29	22.5	23.5	16	26	26	29.5	19.5						24.50	27.80	25	27.00	28.50					S3	S3	Média		Média
6a	19.55	W4	D	N18	83SW		Xisto argiloso	Hasteal W	◀	Q	13.5	19.5	19	12.5	13	24.5	19.5	20.5	16	19.5	17.75	20.70	16.25	18.03						S4	S4	Baixa	Baixa					ZG7	
										R	28	30	20	12	26	18	26	17	23	21						22.10	26.60	25	28.00	27.30					S3	S3	Média		Média
7	20.3	W3	D	N16	88SE		Corneana	Hasteal W	◀	Q	20	34.5	17	25	15.5	21.5	19.5	13	15.5	19	20.05	24.10	20.00	24.40						S4	S3	Baixa	Média					ZG8	
										R	17.5	13.5	20	20	15	22	19	31	21.5	22						20.15	23.30	27	30.00	24.00					S3	S3	Média		Média
8	23	W3	D	N34	86SE		Grauvaque	Hasteal W	◀	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG9	
										R	12	14	10.5	9.5	14	14.5	14	14	12	10.5						12.50	14.10	26	15.50	18.20					S4	S4	Baixa		Baixa
9	24.3	W4	X	N132	8SW		Grauvaque	Hasteal W	▲	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG10	
										R	16	15	17	17	16.5	20	22	18	19	21						18.15	20.00	26	24.44	20.00					S4	S4	Baixa		Baixa
10	30.5	W3	F	N162	6SW		Grauvaque	Hasteal W	▲	Q	20.5	30.5	20	34	36.5	28	32.5	33.5	33.5	35	30.40	34.50	32.35	39.65						S3	S3	Média	Média					ZG11	
										R	23	25	27	28	19	26	26	22	22	20						23.80	26.40	26	32.00	27.10					S3	S3	Média		Média
11	32	W2	X	N157	85NE		Grauvaque	Hasteal W	◀	Q	38.5	39	47.5	34.5	14.5	33.5	39	27	33	45.5	35.20	41.90	45.20	51.36						S3	S3	Média	Média					ZG12	
										R	14	14	17.5	16	15.5	18.5	17	18	16	20						16.65	18.20	26	24.80	23.10					S3	S3	Média		Média
11a	33.5	W3	X	N2	28SE		rauvaque e cornea	Hasteal E	▲	Q	17.5	21.5	24	21	22	25.5	32.5	24	24.5	25	23.75	26.30	24.05	26.6						S3	S3	Média	Média					ZG13	
										R	21	23	22	22	26	26	25	24	27	20						23.60	25.60	26	38.00	26.30					S3	S3	Média		Média
11b	33.5	W3	X	N163	80NE		rauvaque e cornea	Hasteal W	◀	Q	17.5	18	13.5	14.5	14.5	19.5	17.5	14.5	20.5	17.5	16.75	18.60	15.25	17.10						S4	S4	Baixa	Baixa					ZG14	
										R	15	14	15	15	11	14	13	11	14	16						13.80	15.00	26	15.40	18.75					S4	S4	Baixa		Baixa
12a	35	W3	X	N18	118SW		rauvaque e cornea	Hasteal W	▼	Q	13	12	16	17	17	14	14	15	17.5	18.5	15.40	17.20	13.90	15.70						S4	S4	Baixa	Baixa					ZG15	
										R	18	20	18	19	14	14	20	16	18	17						17.40	19.00	26	27.00	29.00					S3	S3	Média		Média
12	36.6	W1	F	N176	84NE	Filão de quartzo	Quartzo	Hasteal W	◀	Q	51	37	65.5	55.5	64.5	42	25	67.5	56.5	57.5	52.20	62.30	78.75	85.85						S2	S2	Elevada	Elevada					ZG16	
										R	65	64	35	53	60	51	69	66	65	54						58.20	65.80	27	210.00	240.00					S2	S2	Elevada		Elevada
13	43.2	W3	D	N18	88NW		orneana metapelítica	Hasteal E	◀	Q	14.5	19.5	18	18	13.5	17.5	20	20	19	20	18.00	19.70	16.50	16.25						S4	S4	Baixa	Baixa					ZG17	
										R	15	15	21	16	14	18	20	19	19	28						18.50	21.40	27	23.00	21.20					S4	S4	Baixa		Baixa
14	50.95	W3	D	N50	82NW		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	Q	25.5	21	46	17	29	32	31	35.5	26	15.5	27.85	34.70	23.85	44.70						S3	S3	Baixa	Baixa					ZG18	
										R	16	21	30	24.5	21	25	23	20	26	16						20.25	25.70	27	26.00	35.00					S3	S3	Média		Média
15	56.84	W3	D	N41	78NW		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	Q	27.5	19.5	45.5	29.5	40.5	26.5	18.5	27.5	22.5	29.5	28.70	34.10	24.80	44.60						S3	S3	Média	Média					ZG19	
										R	13	20	18.5	22	19.5	13	24	22	20.5	20						19.25	21.70	27	25.00	26.00					S4	S4	Baixa		Baixa
16	59.2	W3	D	N43	83SE		Corneana quartzoza	Hasteal W	◀	Q	30.5	35	28	39.5	42.5	50	45	43	47.5	48.5	40.95	46.80	50.41	67.00						S3	S2	Média	Média					ZG20	
										R	20	17	25	34	24	39	48	30	48	25						31.00	39.80	27	50.00	80.00					S3	S2	Média		Elevada
16a	60.9	W2	D	N10	44NE		Corneanas	Galeria lado W	▼	Q	13.5	22	31	34.5	22	18	24	19	35.5	33	25.25	31.60	25.55	32.65						S3	S3	Média	Média					ZG21	
										R	16	20	2																										

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)																																					
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras																																					
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP																																					
Provete	Localização (m)	Litologia	Grau de Alteração (W)	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de ressalto	Leitura nº										Q				R					Classe de Resistência Q		Classificação da Resistência Q		Classe de Resistência R			Classificação da Resistência R			Zonas Geotécnicas		
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 Q	5 Q	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q	10 R	5 R	Densidade média da rocha (kN/m³)	10 σ_c (MPa) R	10 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 Q	5 Q	10 Q	5 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)		5 R (Ábaco Miller)	
1	19.10	Xisto Argiloso com Alternância de Quartzofilitos São a pouco alterados (W1-2)	W1-2	┴	Q	13	29	40	43.5	40.5	39	45	51.5	38.5	47.5	38.75	45.60	48.75	65.80							S3	S2	Média	Elevada		S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	ZG2
					R	27	45	40.5	42.5	44	42	48.5	45.5	39	42					30.35	45.00	26	32.00	51.25	111.11						S3						
2	19.10		W1-2	┴	Q	17.5	28.5	27	44.5	43	37	34	45	39	34	34.95	41.70	40.00	54.75							S3	S3	Média	Média								
					R	31.5	21.5	33	36	21.5	39	30.5	30.5	40.5	36					23.40	36.90	26	35.00	35.83	70.00						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
3	19.10		W1-2	┴	Q	37	35	41	28.5	33.5	44	28.5	41.5	32.5	14	33.55	39.40	38.60	48.95							S3	S3	Média	Média								
					R	19.5	21	32	39	48	43.5	47	43.5	48.5	33					30.25	45.20	26	42.00	51.15	111.31						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
4	19.10		W1-2	┴	Q	26	19.5	26	39.5	19.5	33.5	38	39.5	55.5	26.5	32.35	41.20	37.40	54.25							S3	S3	Média	Média								
					R	34	34	35.5	41	38.5	40.5	46.5	41	37	36					28.05	40.80	26	43.40	46.00	84.00						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
5	19.10		W1-2	┴	Q	14.5	44	47	28	27	51.5	46	46	43	28.5	37.55	46.90	47.55	67.10							S3	S2	Média	Média								
					R	39.5	42.5	44	47	48	37.5	45	39	35.5	25.5					27.75	46.90	26	42.30	45.00	119.40						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
6	19.10		W1-2	┴	Q	24.5	41.5	42	30.5	39.5	49	45	36	37	50.5	39.55	45.60	49.55	65.80							S3	S2	Média	Média								
					R	37.5	24.5	40.5	39	42.5	41.5	40.5	34.5	34	45.5					27.75	42.10	26	43.00	45.00	90.00						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
7	19.10		W1-2	┴	Q	22.5	25.5	36.5	29	41	39.5	45	48	35	40.5	36.25	42.20	46.25	55.25							S3	S3	Média	Média								
					R	18.5	27.5	28	28	33	26.5	22	34.5	35.5	26					20.55	31.80	26	30.00	31.00	53.75						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
8	19.10		W1-2	┴	Q	26	34.5	19.5	23	30	34.5	39	45	22.5	31.5	30.55	36.90	32.50	46.90							S3	S3	Média	Média								
					R	28	32	40.5	37	34.5	36.5	40.5	41.5	46.5	42.5					27.90	42.30	26	42.95	45.90	90.20						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
9	19.10		W1-2	┴	Q	19.5	26.5	32.5	28.5	18	24	20.5	24.5	20	33	24.70	29.00	25.00	30.95							S3	S3	Média	Média								
					R	34.5	33	36.5	40	40	36.5	38.5	34.5	33	36					25.85	38.30	26	40.50	40.50	73.57						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
10	19.10		W1-2	┴	Q	14	15.5	15.5	21.5	18	40	24.5	22.5	35	25	23.15	29.20	23.45	31.95							S3	S3	Média	Média								
					R	25.5	38.5	37.5	39	36	38	37	40.5	26.5	29.1					24.61	38.70	26	38.10	39.26	73.97						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
11	19.10		W1-2	┴	Q	20.5	23.5	16	24	19.5	19.5	20	23	20	14.5	20.05	22.10	17.50	22.40							S4	S3	Baixa	Média								
					R	18.5	21	23.5	30	26	33	28.5	32	30.5	36.5					21.65	32.40	26	30.10	33.25	54.35						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
12	19.10		W1-2	┴	Q	26	45	41	52.5	44.5	47.5	51	47.5	53.5	52	46.05	51.30	66.25	77.85							S2	S2	Elevada	Elevada								
					R	22	17.5	34.5	27	32.5	21	28.5	36	35.5	20					20.05	33.40	26	29.60	30.50	55.35						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
13	19.10		W1-2	┴	Q	28	35	44	24	31	34	41	15	45	38.5	33.55	40.70	38.60	48.95							S3	S3	Média	Média								
					R	30	30	30	17.5	23.5	30	18	27	19	30.5					16.55	30.10	26	26.00	25.00	50.50						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
14	19.10		W1-2	┴	Q	32	38.5	54	36.5	35.5	26	30.5	37	34	36.5	36.05	40.50	46.05	50.50							S3	S3	Média	Média								
					R	33	38	35.5	42.5	31.5	35.5	33	39	33	31.5					24.60	38.10	26	39.50	39.25	73.37						S3	S3	S2	Média	Média	Elevada	
15	19.10		W1-2	┴	Q	27.5	46	22.5	34.5	36	27	31.5	36	44	42	34.70	40.80	39.75	49.05							S3	S3	Média	Média								
					R	26.5	33	26	31	39.5	42.5	37	43	33	41					26.70	40.60	26	39.50	41.95	83.80						S3	S3	S2	Média	Média	Média	
16	19.10		W1-2	┴	Q	18	26	26.5	33.5	46	42	26.5	26.5	38	27	31.00	37.20	32.05	47.20							S3	S3	Média	Média								
					R	24.5	39	29.5	38.5	29	34	41	34.5	31.5	31					23.95	37.40	26	36.25	38.60	72.67						S3	S3	S2	Média	Média	Média	
17	19.10		W1-2	┴	Q	31.5	46	37	44	37.5	34.5	33	40	45	38.5	38.70	42.70	48.25	55.75							S3	S3	Média	Média								
					R	32.5	24.5	32	34.5	31.5	33.5	25	26.5	34.5	21.5					20.70	33.40	26	32.00	30.15	55.35						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
18	19.10		W1-2	┴	Q	32	34	50	43.5	42	36.5	30	28.5	37.5	34.5	36.85	41.50	46.85	46.75							S3	S3	Média	Média								
					R	28.5	26	30	39	34.5	31.5	28.5	26.5	30	27.5					21.75	33.00	26	32.60	38.20	54.95						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
19	19.10		W1-2	┴	Q	17	25	33.5	39.5	40	36.5	35.5	40	36.5	26.5	33.00	38.30	38.05	48.65							S3	S3	Média	Média								
					R	29	22	33.5	27	26.5	26.5	21	28.5	27.5	23.5					18.05	29.10	26	26.95	26.50	50.00						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
20	19.10		W1-2	┴	Q	35.5	40.5	41	44	45	40.5	41	45.5	48.5	50.5	43.20	46.70	56.25	66.90							S3	S2	Média	Elevada								
					R	22.5	23	27.5	30	26.5	30	27.5	34.5	26.5	25.5					20.05	29.90	26	29.50	30.50	50.80						S3	S3	S3	Média	Média	Média	
21	19.10	W1-2	┴	Q	16.5	33	22	27	31	34	34	25.5	29	25.5	27.75	32.20	23.75	37.25							S3	S3	Média	Média									
				R	23.5	28.5	31.5	31.5	27.5	27.5	33	31	31.5	26.5					20.85	31.20	26	31.60	30.30	53.15						S3	S3	S3	Média	Média	Média		

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)																																				
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras										LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP																										
GEOMECÂNICA																																				
Provete	Localização (m)	Litologia	Grau de Alteração (W)	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de ressalto	Leitura nº										Q				R						Classe de Resistência Q		Classificação da Resistência Q		Classe de Resistência R			Classificação da Resistência R			Zonas Geotécnicas
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 Q	5 Q	10 σ _c (MPa) Q	5 σ _c (MPa) Q	10 R	5 R	Densidade média da rocha (kN/m³)	10 σ _c (MPa) R	10 σ _c (MPa) R (Ábaco Miller)	5 σ _c (MPa) R (Ábaco Miller)	10 Q	5 Q	10 Q	5 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	
22	30.50	Grauvaque e Corneanas Metapelíticas Quartzosa Medianamente Alterada (W3)	W3	┴	Q	26.5	34	41	31	23	30.5	42	35	20.5	33	31.65	37.00	36.70	47.00							S3	S3	Média	Média							ZG3
	R				30	40.5	25.5	24.5	31	40.5	23	23	30	39.5					30.75	20.25	26	33.90	51.65	65.00					S3	S3	S2	Média	Elevada	Elevada		
23	30.50		W3	┴	Q	39.5	32.5	50.5	64	63	67	64	45.5	48.5	66.5	54.10	64.90	80.65	111.15							S2	S2	Média	Elevada							
	R				27.5	39	34	30	37	39.5	42	39	37	37					36.20	28.44	26	40.20	68.00	78.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
24	30.50		W3	┴	Q	21	32.5	30.5	22	26.5	29	35	27	27.5	25	27.60	30.90	23.60	32.85							S3	S3	Média	Média							
	R				21	27	30	24	25	22.5	27.5	22.5	24.5	24.5					24.85	20.20	26	25.90	39.50	43.00					S3	S3	S3	Média	Média	Média		
25	30.50		W3	┴	Q	19.9	22.5	25	29	18	28.5	28	27	37	34	26.89	31.30	22.90	36.35							S3	S3	Média	Média							
	R				18.5	21	25	30	25	28	36	28.5	28.5	23					26.35	21.60	26	26.80	41.60	52.00					S3	S3	S3	Média	Média	Média		
26	31.40		W3	┴	Q	19.5	25	23	23	15.5	18	nd	nd	nd	nd	20.67	21.70	18.00	22.00							S4	S3	Baixa	Média							
	R				25.5	27.5	34.5	25	34	26.5	25.5	27.5	28	25.5					27.95	22.00	26	30.10	44.90	52.00					S3	S3	S3	Média	Média	Média		
27	31.40		W3	┴	Q	40	52.5	51.5	52.5	51	52.5	48	64	43	40.5	44.75	54.60	57.80	81.35							S3	S2	Média	Elevada							
	R				31.5	49	51.5	43.5	35	34.5	33	31.5	26.5	37.5					37.35	36.67	26	41.85	72.00	91.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
28	31.40		W3	┴	Q	68	59	48	45.5	67.5	54.5	54	71	56.5	71	48.40	67.30	68.60	117.29							S2	S2	Média	Elevada							
	R				43	45	47	36	45.5	39	48	51	41.5	48					44.40	43.08	26	57.45	105.60	131.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
29	31.40		W3	┴	Q	36	37	48	46	47.5	56.5	41	49	33.5	37.5	35.25	49.40	40.30	69.60							S3	S3	Média	Média							
	R				34.5	32.5	38.5	44	35.5	36	40	20.5	27.5	39					34.80	30.86	26	38.10	64.85	80.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
30	31.40		W3	┴	Q	17	21.5	35	35.5	48	46.5	49	35	28.5	49.5	31.65	45.70	36.70	58.75							S3	S3	Média	Média							
	R				35.5	39	38	34	42.5	42.5	34	27.5	36.5	26					35.55	27.60	26	39.80	65.60	81.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
31	33.50		W3	┴	Q	17.5	17	13.5	22	23	15.5	18	nd	nd	nd	18.07	19.50	16.60	30.06							S4	S3	Média	Média							
	R				nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
32	33.50		W3	┴	Q	22	22	14	22	27	14	23	28	32	25	22.90	27.00	23.20	23.50							S3	S3	Média	Média							
	R				24	17.5	25	21.5	22.5	22.5	24	nd	nd	nd					22.43	23.60	26	20.90	34.86	38.00					S3	S3	S3	Média	Média	Média		
33	36	Veio Quartzo	W1	┴	Q	61	52.5	59.5	63	55	54	59	54	57	54	56.90	59.90	83.45	86.45							S2	S2	Elevada	Elevada							
	R				52	65.5	62	61.5	60.5	64.5	64.5	54.5	62.5	51					59.85	48.60	26	>46,00	240.00	>240					S3	S1	S1	Média	Elevada	Muito Elevado		
34	36		W1	┴	Q	52.5	59.5	48.5	53.5	44.5	55.5	56.5	52	53.5	53.5	52.95	55.70	79.50	84.30							S2	S2	Elevada	Elevada							
	R				14.5	21.5	39.5	31.5	53	40.5	31.5	48.5	30	61					37.15	46.23	26	41.65	67.20	121.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
35	36		W1	┴	Q	71.5	76.5	62	52.5	60.5	65	61	70	52	66.5	63.75	69.90	110.00	118.59							S2	S2	Elevada	Elevada							
	R				29	39	19.5	39.5	56.5	45.5	41	31.5	40	40.5					38.20	30.14	26	43.20	83.90	105.60					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
36	36		W1	┴	Q	23.5	34	34	36	30	36.5	33.5	51.5	33.5	35	34.75	38.60	39.80	38.30							S3	S3	Média	Média							
	R				31.5	36	33.5	34.5	32	31	34	32.5	30.5	31.1					32.66	31.82	26	35.70	62.71	60.00					S3	S2	S3	Média	Média	Média		
37	36		W1	┴	Q	41	42.5	40.5	34	30	35	47	45.5	49.5	31.5	39.65	45.10	49.65	40.55							S3	S3	Média	Média							
	R				37.5	39	45.5	36.5	17.5	37	20.5	43	29	38					34.35	30.87	26	37.60	64.40	51.00					S3	S2	S3	Média	Média	Média		
38	36		W1	┴	Q	54.5	57	66	59.5	51	54.5	58.5	61.5	56	59	57.75	60.90	84.30	84.45							S2	S2	Elevada	Elevada							
	R				56	52.5	50	40.5	53	53.5	54	59.5	58	50					52.70	43.50	26	>46,00	155.00	200.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
39	40 → 7,90	Grauvaque e Corneanas Metapelíticas Quartzosa Medianamente Alterada (W3)	W3	┴	Q	30.5	19.5	16	24	18	18.5	18.5	25	23	22.5	21.55	25.00	21.85	21.50							S3	S3	Média	Média							
	R				19.5	23.5	23.5	22	23.5	24	26.5	30.5	25	26.5					24.45	21.29	26	24.75	39.10	43.00					S3	S3	S3	Média	Média	Média		
40	40 → 7,90		W3	┴	Q	33.5	19.5	43.5	43	48.5	50	51	54	39.5	54.5	43.70	51.60	56.75	80.20							S3	S2	Média	Elevada							
	R				32	39	45.5	43	45	40.5	36.5	40	38.5	43.5					40.35	40.47	26	42.30	85.00	105.00					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
41	40 → 7,90		W3	┴	Q	31	42	28	42	39.5	48.5	43.5	49.5	52.5	46.5	42.30	48.10	55.35	68.30							S3	S2	Média	Elevada							
	R				31	39.5	47	52	44.5	38.5	29.5	32	nd	nd					39.25	39.30	26	49.25	80.00	105.40					S3	S2	S2	Média	Elevada	Elevada		
42	40 → 7,90	W3	┴	Q	25	41	36.5	44.5	35	36	45	51.5	32.5	37.5	38.45	43.90	48.45	56.35							S3	S3	Média	Média								
	R			22.5	30.5	32.5	33	26.5	33	26.5	46.5	30	28.5	31.5	28.5					31.00	26.90	26	34.00	52.00	65.00					S3	S3	S2	Média	Elevada	Elevada	

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)																																				
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras																																				
GEOMECÂNICA																																				
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP																																				
Provete	Localização da recolha do provete (m)	Litologia	Grau Alteração	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de ressalto	Leitura nº										Q				R					Classe de Resistência Q		Classificação da Resistência Q		Classe de Resistência R			Classificação da Resistência R (ISRM 1981)			Zonas Geotécnicas	
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 Q	5 Q	10 σ_c (MPa) Q	5 σ_c (MPa) Q	10 R	5 R (Abaco Miller)	Densidade média da rocha (kN/m³)	10 σ_c (MPa) R	10 σ_c (MPa) R (Abaco Miller)	5 σ_c (MPa) R (Abaco Miller)	10 Q	5 Q	10 Q	5 Q	10 R	10 R (Abaco Miller)	5 R (Abaco Miller)	10 R	10 R (Abaco Miller)		5 R (Abaco Miller)
43	60.50	Corneanas Metaleíticas Quartzosas Medianamente Alteradas (W3-2)	W2	└	Q	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	ZG4		
					R	29	27	19	17	27	18	22	17	20.5	21.5					21.80	25.30	27	21.80	33.40	39.70				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
44	60.50		W2	└	Q	16	29	18	20	36.5	18	22.5	ND	ND	ND	22.86	25.20	23.20	nd							S3	S3	Média	Média							
					R	24.5	21	25	21	23.5	17	nd	nd	nd	nd	22.00	23.00	27	22.00	33.60	35.00				S3	S3	Média	Média	S3	S3	S3	Média	Média		Média	
45	60.50		W2	└	Q	26.5	18.5	33	24	42	41.5	36	28	29	31	30.95	36.70	32.00	35.05							S3	S3	Média	Média							
					R	24.1	28.5	20	28.5	19	23.5	27.5	31	23.5	30.5					25.61	29.20	27	26.00	40.00	49.80				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
46	60.50		W2	└	Q	33.5	28	22.5	27.5	22	33	28.5	16.5	17	16.5	24.50	30.10	24.80	31.15						S3	S3	Média	Média								
					R	19.5	20	26.5	31.5	29.5	33	28.5	33.5	33	24.5					27.95	32.10	27	30.10	45.00	55.00				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
47	60.90		W2	└	Q	34.5	48.5	35.5	58	49	56.5	60	41.5	49.5	44.5	47.75	54.60	67.95	78.4						S2	S2	Elevada	Elevada								
					R	19.5	18.5	37.5	41.5	19.5	37.5	20	41	48	31.5					31.45	41.10	27	48.00	52.45	91.00				S3	S3	S2	Média	Elevada		Elevada	
48	60.90		W2	└	Q	45	41	48	47	44	44.5	38	40	52.5	56.5	45.65	49.80	58.70	70						S3	S2	Média	Elevada								
					R	31	32	35.5	37	39.5	42.5	27	36.5	39	31.5					35.15	38.90	27	46.00	65.00	80.00				S3	S2	S2	Média	Elevada		Elevada	
49	60.90		W2	└	Q	41	54	42	56	53.5	59.5	55.5	58	53.5	48.5	52.15	56.50	78.70	80.3						S2	S2	Elevada	Elevada								
					R	24	32	22.5	44	48	38.5	45	38.5	49	48.5					39.00	46.90	27	49.50	80.00	125.00				S3	S2	S2	Média	Elevada		Elevada	
50	60.90		W2	└	Q	45.5	37	31	49.5	36.5	30.5	45.5	31	31	37.5	37.50	43.00	47.50	56.05						S3	S3	Média	Média								
					R	36.5	48	26.5	36.5	46	41.5	33.5	36	37	45.5					38.70	43.60	27	49.00	79.70	108.33				S3	S2	S2	Média	Elevada		Elevada	
51	60.90		W2	└	Q	32.5	50.5	54	49	45.5	51	52.5	42	33.5	22	43.25	51.40	56.30	56.55						S3	S3	Média	Média								
					R	20.5	26.5	24.5	28	20	21.5	33.5	40.5	nd	nd					26.88	30.60	27	28.00	43.90	51.00				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
52	60.90		W2	└	Q	32.5	40.5	44.5	44.5	51	48.5	49.5	45	48	53	45.70	50.00	58.75	55.15						S3	S3	Média	Média								
					R	20	35.5	42.5	30.5	39	21.5	24	29.5	19	30					29.15	35.50	27	31.00	48.00	69.00				S3	S3	S2	Média	Elevada		Elevada	
53	60.90		W2	└	Q	23.5	22	34	37	36.5	44	30.5	32.5	35	42	33.70	38.90	32.65	48.90						S3	S3	Média	Média								
					R	18	23.5	20.5	25.5	36.5	39	40.5	41	46	32					32.25	40.60	27	35.00	53.25	89.40				S3	S3	S2	Média	Elevada		Elevada	
54	60.90		W2	└	Q	34.5	49	14.5	34	46	26	33	45	39.5	25.5	34.70	42.80	33.65	55.85						S3	S3	Média	Média								
					R	23.5	17	37	18.5	36.5	28.5	31.5	47	36.5	43					31.90	40.00	27	35.00	49.00	90.00				S3	S3	S2	Média	Elevada		Elevada	
55	63.20		W2	└	Q	28	19	26	33	30	35	42.5	43	28.5	21.5	30.65	36.70	31.70	46.7						S3	S3	Média	Média								
					R	21.5	30.5	33	39	36	39.5	35.5	34	33.5	21.5					32.40	36.80	27	35.25	53.40	71.00				S3	S3	S2	Média	Elevada		Elevada	
56	63.20		W2	└	Q	38	19	30.5	28.5	31	12.5	22	24.5	18	31.5	25.55	31.90	23.75	36.95						S3	S3	Média	Média								
					R	22.5	30.5	23	28.5	26.5	27.5	28	35	26.5	26					27.40	29.90	27	30.00	44.45	49.70				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
57	63.20		W2	└	Q	35	42.5	24	34.5	39	25	26	42	35.5	42	34.55	40.20	33.50	50.2						S3	S3	Média	Média								
					R	22	22.5	20	23.5	19.5	20.5	23.5	22.5	24.5	22.5					22.10	23.30	27	22.00	33.70	35.70				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
58	63.20		W2	└	Q	21.5	16.5	34.5	30.5	44	22.5	32.5	42	43	39.5	32.65	40.60	35.70	50.6						S3	S3	Média	Média								
					R	25.5	23	20.5	25	23	21	26.5	19.5	22.5	20					22.65	24.60	27	23.00	34.25	37.00				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
59	75.00		W2	└	Q	25.5	18	24	37.5	28	14.5	36	32.5	29	27.5	27.25	32.50	23.25	35.55						S3	S3	Média	Média								
					R	27	26	33	22.5	30	19.5	24.5	29	27.5	36.5					27.55	30.00	27	31.00	44.60	50.00				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
60	75.00		W2	└	Q	31	31	30	30	33	32	38.5	38.5	31.5	37.5	33.30	35.90	36.35	45.90						S3	S3	Média	Média								
					R	20	23.5	28	25.5	24.5	26.5	32.5	26.5	26	28					26.10	27.90	27	27.80	43.12	48.50				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
61	75.00		W2	└	Q	21.5	21	37	16.5	35	32.5	24	17	26	35	26.55	33.10	22.55	34.95						S3	S3	Média	Média								
					R	21	24.5	34.5	18.5	26	22.5	25	27.5	31	28.5					25.90	29.50	27	27.00	41.00	49.50				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
62	75.00		W2	└	Q	25.5	14	21.5	32.5	30.5	25.5	29.5	32.5	26.5	29	26.70	30.80	22.70	31.85						S3	S3	Média	Média								
					R	27	28.5	27	30	27.5	30	28.5	35	30.5	29					29.30	30.90	27	31.00	49.00	50.90				S3	S3	S3	Média	Média		Média	
63	75.00		W2	└	Q	27.5	18.5	28.5	34	33.5	32	23.5	38	20.5	24	28.00	32.30	24.00	37.35						S3	S3	Média	Média								
					R	21.5	25.5	26.5	29.5	30	21	29.5	26.5	33	30					27.30	30.40	27	28.00</													

Zonas Geotécnicas	Litologia	10 Q	10 R	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R
		10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)
ZG1	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
			14.00			S4	Baixa
	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
			22.00			S3	Média
	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
ZG2	Xisto argiloso		15.00			S4	Baixa
		nd		nd	nd		
	Xisto argiloso		19.90			S4	Baixa
		nd		nd	nd		
	Xisto argiloso/Quartzofilito	nd		nd	nd		
ZG3	Quartzofilito		15.00			S4	Baixa
		50.06		S3	Média		
	Xisto argiloso		27.00			S3	Média
		16.25		S4	Baixa		
	Corneana		28.00			S3	Média
ZG4	Grauvaque	20.00		S4	Baixa		
			30.00			S3	Média
	Grauvaque	nd		nd	nd		
			15.50			S4	Baixa
	Grauvaque	nd		nd	nd		
			24.44			S4	Baixa
	Grauvaque	32.35		S3	Média		
			32.00			S3	Média
	Grauvaque	45.20		S3	Média		
			24.80			S3	Média
	Grauvaque e corneana	24.05		S3	Média		
			38.00			S3	Média
	Grauvaque e corneana	15.25		S4	Baixa		
			15.40			S4	Baixa
	Grauvaque e corneana	13.90		S4	Baixa		
			27.00			S3	Média
	Quartzo	78.75		S2	Elevada		
			210.00			S2	Elevada
	Corneana metapelítica	16.50		S4	Baixa		
			23.00			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	23.85		S3	Baixa		
			26.00			S3	Média
	Corneana quartzoza	24.80		S3	Média		
			25.00			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	50.41		S3	Média		
			50.00			S3	Média
	Corneanas	25.55		S3	Média		
			32.50			S3	Média
	Corneanas	39.60		S3	Média		
			26			S3	Média
	Corneana quartzoza	48.05		S3	Média		
			45.00			S3	Média
	Corneana quartzoza	64.55		S2	Elevada		
			58.00			S3	Média

Zonas Geotécnicas	Litologia	5 Q	5 R	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R
		5 oc (MPa) Q	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) Q (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)
ZG1	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
			16.20			S4	Baixa
	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
			23.90			S3	Média
	Xisto argiloso	nd		nd	nd		
ZG2	Xisto argiloso		17.5			S4	Baixa
		nd		nd	nd		
	Xisto argiloso		19.90			S4	Baixa
		nd		nd	nd		
	Xisto argiloso/Quartzofilito	nd		nd	nd		
ZG3	Quartzofilito		20.30			S4	Baixa
		65.20		S2	Elevada		
	Xisto argiloso		28.50			S3	Média
		18.03		S4	Baixa		
	Corneana		27.30			S3	Média
ZG4	Grauvaque	24.40		S3	Média		
			24.00			S3	Média
	Grauvaque	nd		nd	nd		
			18.20			S4	Baixa
	Grauvaque	nd		nd	nd		
			20.00			S4	Baixa
	Grauvaque	39.65		S3	Média		
			27.10			S3	Média
	Grauvaque	51.36		S3	Média		
			23.10			S3	Média
	Grauvaque e corneana	26.6		S3	Média		
			26.30			S3	Média
	Grauvaque e corneana	17.10		S4	Baixa		
			18.75			S4	Baixa
	Grauvaque e corneana	15.70		S4	Baixa		
			29.00			S3	Média
	Quartzo	85.85		S2	Elevada		
			240.00			S2	Elevada
	Corneana metapelítica	16.25		S4	Baixa		
			21.20			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	44.70		S3	Baixa		
			35.00			S3	Média
	Corneana quartzoza	44.60		S3	Média		
			26.00			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	67.00		S2	Média		
			80.00			S2	Elevada
	Corneanas	32.65		S3	Média		
			40.00			S3	Média
	Corneanas	49.76		S3	Média		
			31.20			S3	Média
	Corneana quartzoza	78.35		S2	Elevada		
			40.10			S3	Média
	Corneana quartzoza	77.65		S2	Elevada		
			47.2			S3	Média

Zonas Geotécnicas	Litologia	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R
		10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) Q (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)
ZG1	Xisto argiloso	nd			nd	nd		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Xisto argiloso	nd			nd	nd		
			S3	Média			S3	Média
	Xisto argiloso	nd			nd	nd		
ZG2	Xisto argiloso		S4	Baixa			S4	Baixa
		nd			nd	nd		
	Xisto argiloso		S4	Baixa			S4	Baixa
		nd			nd	nd		
	Xisto argiloso/Quartzofilito	nd			nd	nd		
ZG3	Quartzofilito		S4	Baixa			S4	Baixa
		Média			S2	Elevada		
	Xisto argiloso		S3	Média			S3	Média
		Baixa			S4	Baixa		
	Corneana		S3	Média			S3	Média
ZG4	Grauvaque	Baixa			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Grauvaque	nd			nd	nd		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Grauvaque	nd			nd	nd		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Grauvaque	Média			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Grauvaque	Média			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Grauvaque e corneana	Média			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Grauvaque e corneana	Baixa			S4	Baixa		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Grauvaque e corneana	Baixa			S4	Baixa		
			S3	Média			S3	Média
	Quartzo	Elevada			S2	Elevada		
			S2	Elevada			S2	Elevada
	Corneana metapelítica	Baixa			S4	Baixa		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	Baixa			S3	Baixa		
			S3	Média			S3	Média
	Corneana quartzoza	Média			S3	Média		
			S4	Baixa			S4	Baixa
	Corneana quartzoza	Média			S2	Média		
			S3	Média			S2	Elevada
	Corneanas	Média			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Corneanas	Média			S3	Média		
			S3	Média			S3	Média
	Corneana quartzoza	Média			S2	Elevada		
			S3	Média			S3	Média
	Corneana quartzoza	Elevada			S2	Elevada		
			S3	Média			S3	Média

10 Q	10 R		Classe Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Reestência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)		Classificação da Reestência R (ISRM 1981)		Zonas Geotécnicas
10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)	
48.75			S3	Média					ZG2: Xisto Argiloso com Alternância de Quartzo-filtos São a pouco alterados (W1-2)
	32.00	51.25			S3	S3	Média	Média	
40.00			S3	Média					
	35.00	35.83			S3	S3	Média	Média	
38.60			S3	Média					
	42.00	51.15			S3	S3	Média	Média	
37.40			S3	Média					
	43.40	46.00			S3	S3	Média	Média	
47.55			S3	Média					
	42.30	45.00			S3	S3	Média	Média	
49.55			S3	Média					
	43.00	45.00			S3	S3	Média	Média	
46.25			S3	Média					
	30.00	31.00			S3	S3	Média	Média	
32.50			S3	Média					
	42.95	45.90			S3	S3	Média	Média	
25.00			S3	Média					
	40.50	40.50			S3	S3	Média	Média	
23.45			S3	Média					
	38.10	39.26			S3	S3	Média	Média	
17.50			S4	Baixa					
	30.10	33.25			S3	S3	Média	Média	
66.25			S2	Elevada					
	29.60	30.50			S3	S3	Média	Média	
38.60			S3	Média					
	26.00	25.00			S3	S3	Média	Média	
46.05			S3	Média					
	39.50	39.25			S3	S3	Média	Média	
39.75			S3	Média					
	39.50	41.95			S3	S3	Média	Média	
32.05			S3	Média					
	36.25	38.60			S3	S3	Média	Média	
48.25			S3	Média					
	32.00	30.15			S3	S3	Média	Média	
46.85			S3	Média					
	32.60	38.20			S3	S3	Média	Média	
38.05			S3	Média					
	26.95	26.50			S3	S3	Média	Média	
56.25			S3	Média					
	29.50	30.50			S3	S3	Média	Média	
23.75			S3	Média					
	31.60	30.30			S3	S3	Média	Média	

5 Q	5 R	Classe de Resistência Q	Classificação da Reestência Q	Classe Resistência R	Classificação da Reestência R	Zonas Geotécnicas
5 oc (MPa) Q	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 Q	5 Q	5 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	
65.80		S2	Elevada			ZG2: Xisto Argiloso com Alternância de Quartzo-filtos São a pouco alterados (W1-2)
	111.11			S2	Elevada	
54.75		S3	Média			
	70.00			S2	Elevada	
48.95		S3	Média			
	111.31			S2	Elevada	
54.25		S3	Média			
	84.00			S2	Elevada	
67.10		S2	Média			
	119.40			S2	Elevada	
65.80		S2	Média			
	90.00			S2	Elevada	
55.25		S3	Média			
	53.75			S3	Média	
46.90		S3	Média			
	90.20			S2	Elevada	
30.95		S3	Média			
	73.57			S2	Elevada	
31.95		S3	Média			
	73.97			S2	Elevada	
22.40		S3	Média			
	54.35			S3	Média	
77.85		S2	Elevada			
	55.35			S3	Média	
48.95		S3	Média			
	50.50			S3	Média	
50.50		S3	Média			
	73.37			S2	Elevada	
49.05		S3	Média			
	83.80			S2	Média	
47.20		S3	Média			
	72.67			S2	Média	
55.75		S3	Média			
	55.35			S3	Média	
46.75		S3	Média			
	54.95			S3	Média	
48.65		S3	Média			
	50.00			S3	Média	
66.90		S2	Elevada			
	50.80			S3	Média	
37.25		S3	Média			
	53.15			S3	Média	

Zonas Geotécnicas	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R		Classificação da Resistência R		Classe de Resistência Q	Classificação da Reestência Q	Classe Resistência R	Classificação da Reestência R
	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)	5 Q	5 Q	5 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)
ZG2: Xisto Argiloso com Alternância de Quartzo-filtos São a pouco alterados (W1-2)	S3	Média					S2	Elevada		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S2	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S2	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S2	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S3	Média					S2	Elevada		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média

10 Q		10 R		Classe Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Reistência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)		Classificação da Resistência R (ISRM 1981)		Zonas Geotécnicas
10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)		
36.70			S3	Média					Grauvauque e Corneanas Metagêliticos Quartzito Medianamente Alterada (W3)	
	33.90	51.65			S3	S3	Média	Elevada		
80.65			S2	Média						
	40.20	68.00			S3	S2	Média	Elevada		
23.60			S3	Média						
	25.90	39.50			S3	S3	Média	Média		
22.90			S3	Média						
	26.80	41.60			S3	S3	Média	Média		
18.00			S4	Baixa						
	30.10	44.90			S3	S3	Média	Média		
57.80			S3	Média						
	41.85	72.00			S3	S2	Média	Elevada		
68.60			S2	Média						
	57.45	105.60			S3	S2	Média	Elevada		
40.30			S3	Média						
	38.10	64.85			S3	S2	Média	Elevada		
36.70			S3	Média						
	39.80	65.60			S3	S2	Média	Elevada		
16.60			S4	Média						
nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
23.20			S3	Média						
	20.90	34.86			S3	S3	Média	Média		
							Média	Média		
83.45			S2	Elevada						
	>46,00	240,00			S3	S1	Média	Elevada		
79.50			S2	Elevada						
	41.65	67.20			S3	S2	Média	Elevada		
110.00			S2	Elevada						
	43.20	83.90			S3	S2	Média	Elevada		
39.80			S3	Média						
	35.70	62.71			S3	S2	Média	Média		
49.65			S3	Média						
	37.60	64.40			S3	S2	Média	Média		
84.30			S2	Elevada						
	>46,00	155,00			S3	S2	Média	Elevada		
21.85			S3	Média						
	24.75	39.10			S3	S3	Média	Média		
56.75			S3	Média						
	42.30	85.00			S3	S2	Média	Elevada		
55.35			S3	Média						
	49.25	80.00			S3	S2	Média	Elevada		
48.45			S3	Média						
	34.00	52.00			S3	S3	Média	Elevada		

Classe Resistência Q	classificação da Reestência Q	Classe de Resistência R	classificação da Reestência R	Zonas Geotécnicas
5 Q	5 Q	5 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	
S3	Média			Grauvaque e Corneanas Metapelíticas Quartzo Medianamente Alterada (W3)
		S2	Elevada	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S3	Média	
S3	Média			
		S3	Média	
S3	Média			
		S3	Média	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S2	Elevada	
nd	nd	nd	nd	
S3	Média			
		S3	Média	
S2	Elevada			
		S1	Muito Elevado	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S3	Média	
S3	Média			
		S3	Média	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S3	Média	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S2	Elevada			
		S2	Elevada	
S3	Média			
		S2	Elevada	

Zonas Geotécnicas	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Classe de Resistência R		Classificação da Resistência R		Classe Resistência Q	classificação da Reestitência Q	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R
	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Âbaco Miller)	10 R	10 R (Âbaco Miller)	5 Q	5 Q	5 R (Âbaco Miller)	5 R (Âbaco Miller)
Grauvaque e Corneanas Metapelíticas Quartzosa Medianamente Alterada (W3)	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Elevada			S2	Elevada
	S2	Média	S3	S2	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
	S4	Baixa					S3	Média		
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S2	Elevada	S3	Média
	S2	Média	S3	S2	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S2	Média	Elevada			S2	Elevada
			S3	S2	Média	Elevada	S3	Média		Elevada
	S3	Média	S3	S2	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S4	Média					S3	Média		
	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	S3	Média					S3	Média	S3	Média
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
					Média	Média				
	S2	Elevada					S2	Elevada		
			S3	S1	Média	Elevada			S1	Muito Elevado
	S2	Elevada					S2	Elevada		
			S3	S2	Média	Elevada			S2	Elevada
	S2	Elevada					S2	Elevada		
	S3	Média	S3	S2	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S2	Média	Média	S3	Média	S3	Média
			S3	S2	Média	Média			S3	Média
	S2	Elevada					S2	Elevada	S3	Média
			S3	S2	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada
	S3	Média					S3	Média		
			S3	S3	Média	Média			S3	Média
S3	Média					S2	Elevada			
		S3	S2	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada	
S3	Média					S3	Média			
		S3	S3	Média	Elevada			S2	Elevada	


10 Q	10 R		Classe Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Reestência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)		Classificação da Reestência R (ISRM 1981)		Zonas Geotécnicas
10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) R	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)	
nd			nd	nd					ZG4: Corneanas Metaeliticas Quartzosas Median amente Alteradas (W3-2)
	21.80	33.40			S3	S3	Média	Média	
23.20			S3	Média					
	22.00	33.60			S3	S3	Média	Média	
32.00			S3	Média					
	26.00	40.00			S3	S3	Média	Média	
24.80			S3	Média					
	30.10	45.00			S3	S3	Média	Média	
67.95			S2	Elevada					
	48.00	52.45			S3	S3	Média	Elevada	
58.70			S3	Média					
	46.00	65.00			S3	S2	Média	Elevada	
78.70			S2	Elevada					
	49.50	80.00			S3	S2	Média	Elevada	
47.50			S3	Média					
	49.00	79.70			S3	S2	Média	Elevada	
56.30			S3	Média					
	28.00	43.90			S3	S3	Média	Média	
58.75			S3	Média					
	31.00	48.00			S3	S3	Média	Elevada	
32.65			S3	Média					
	35.00	53.25			S3	S3	Média	Elevada	
33.65			S3	Média					
	35.00	49.00			S3	S3	Média	Elevada	
31.70			S3	Média					
	35.25	53.40			S3	S3	Média	Elevada	
23.75			S3	Média					
	30.00	44.45			S3	S3	Média	Média	
33.50			S3	Média					
	22.00	33.70			S3	S3	Média	Média	
35.70			S3	Média					
	23.00	34.25			S3	S3	Média	Média	
23.25			S3	Média					
	31.00	44.60			S3	S3	Média	Média	
36.35			S3	Média					
	27.80	43.12			S3	S3	Média	Média	
22.55			S3	Média					
	27.00	41.00			S3	S3	Média	Média	
22.70			S3	Média					
	31.00	49.00			S3	S3	Média	Média	
24.00			S3	Média					
	28.00	44.40			S3	S3	Média	Média	
55.85			S3	Média					
	31.00	46.00			S3	S3	Média	Média	
18.15			S4	Baixa					
	19.50	30.00			S3	S3	Média	Média	
32.15			S3	Média					
	26.00	40.00			S3	S3	Média	Média	
23.50			S3	Média					
	24.00	35.00			S3	S3	Média	Média	
22.45			S3	Média					
	28.10	42.00			S3	S3	Média	Média	
35.55			S3	Média					
	25.00	36.00			S3	S3	Média	Média	
22.65			S3	Média					
	35.00	52.00			S3	S3	Média	Média	
34.30			S3	Média					
	22.25	34.00			S3	S3	Média	Média	
21.35			S3	Média					
	25.00	35.00			S3	S3	Média	Média	
21.35			S3	Média					
	25.00	39.00			S3	S3	Média	Média	
31.15			S3	Média					
	31.00	34.80			S3	S3	Média	Média	
22.25			S3	Média					
	20.50	31.00			S3	S3	Média	Média	
21.95			S3	Média					
	24.80	35.80			S3	S3	Média	Média	
31.75			S3	Média					
	21.15	31.50			S3	S3	Média	Média	
33.65			S3	Média					
	34.00	51.00			S3	S3	Média	Média	
24.30			S3	Média					
	27.00	41.90			S3	S3	Média	Média	
15.55			S4	Média					
	31.00	48.90			S3	S3	Média	Média	
22.30			S3	Média					
	28.00	43.00			S3	S3	Média	Média	


5 Q	5 R	Classe Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Reestência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)	Classificação da Reestência R (ISRM 1981)	Zonas Geotécnicas
5 oc (MPa) Q	5 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	5 Q	5 Q	5 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)	
nd		nd	nd			ZG4: Corneanas Metaeliticas Quartzosas Median amente Alteradas (W3-2)
	39.70			S3	Média	
nd		S3	Média			
	35.00			S3	Média	
35.05		S3	Média			
	49.80			S3	Média	
31.15		S3	Média			
	55.00			S3	Média	
78.4		S2	Elevada			
	91.00			S2	Elevada	
70		S2	Elevada			
	80.00			S2	Elevada	
80.3		S2	Elevada			
	125.00			S2	Elevada	
56.05		S3	Média			
	108.33			S2	Elevada	
56.55		S3	Média			
	51.00			S3	Média	
55.15		S3	Média			
	69.00			S2	Elevada	
48.90		S3	Média			
	89.40			S2	Elevada	
55.85		S3	Média			
	90.00			S2	Elevada	
46.7		S3	Média			
	71.00			S2	Elevada	
36.95		S3	Média			
	49.70			S3	Média	
50.2		S3	Média			
	35.70			S3	Média	
50.6		S3	Média			
	37.00			S3	Média	
35.55		S3	Média			
	50.00			S3	Média	
45.90		S3	Média			
	48.50			S3	Média	
34.95		S3	Média			
	49.50			S3	Média	
31.85		S3	Média			
	50.90			S3	Média	
37.35		S3	Média			
	50.60			S3	Média	
58.85		S3	Média			
	50.40			S3	Média	
22.90		S3	Média			
	33.60			S3	Média	
44.50		S3	Média			
	47.60			S3	Média	
30.00		S3	Média			
	39.50			S3	Média	
24.1		S3	Média			
	49.40			S3	Média	
49.70		S3	Média			
	48.20			S3	Média	
24.1		S3	Média			
	79.40			S2	Elevada	
47.9		S3	Média			
	36.80			S3	Média	
24.3		S3	Média			
	39.80			S3	Média	
24.1		S3	Média			
	47.30			S3	Média	
48.30		S3	Média			
	46.70			S3	Média	
26.1		S3	Média			
	35.70			S3	Média	
25.80		S3	Média			
	51.90			S3	Média	
47.10		S3	Média			
	35.70			S3	Média	
48.00		S3	Média			
	55.00			S3	Média	
30.50		S3	Média			
	48.00			S3	Média	
18.75		S4	Baixa			
	55.80			S3	Média	
24.7		S3	Média			
	49.60			S3	Média	


Zonas Geotécnicas	Classe de Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Resistência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)		Classificação da Resistência R (ISRM 1981)		Classe de Resistência Q (ISRM 1981)	Classificação da Resistência Q (ISRM 1981)	Classe de Resistência R (ISRM 1981)	
	10 Q	10 Q	10 R	10 R (Ábaco Miller)	10 R	10 R (Ábaco Miller)	5 Q	5 Q	5 R (Ábaco Miller)	5 R (Ábaco Miller)
ZG4: Corneanas Metaeliticas Quartzosas Median amente Alteradas (W3-2)	nd	nd					nd	nd		
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S2	Elevada	S3	S3	Média	Média	S2	Elevada	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada
	S2	Elevada	S3	S2	Média	Elevada	S2	Elevada	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S2	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S2	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S3	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S3	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S3	Média	Elevada	S3	Média	S2	Elevada
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
	S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3	Média	
S3	Média	S3	S3	Média	Média	S3	Média	S3</		


Esclerômetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)														LABCARGA	
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras															
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP															
Ponto	Localização (UTM)	Utilidade	Condição da superfície do solo	Q		R		Classificação de Resistência Q (ENR 1981)		Classificação de Resistência R (ENR 1981)		Classificação de Resistência R (ENR 1981)		Zona Geotécnica	
				10 Q (mm Q)	10 Q (mm Q)	10 Q (mm R)	10 Q (mm R)	10 Q	10 Q	10 R	10 R	10 R	10 R		
1	19 00	Bico Agulha com Bateria e Carregador	Quadrado 10 x 10 cm, 10 cm de espessura	Q	46,75			10	Muito			10 R	10 R	B1	
2	19 00			R		32,00	31,25			10	Muito	10 R	10 R		
3	19 00			Q	40,00	30,00	29,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
4	19 00			R		42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
5	19 00			Q	37,40	31,00	30,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
6	19 00			R		47,00	46,50	10	Muito						
7	19 00			Q	46,75	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
8	19 00			R		46,75	46,00	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
9	19 00			Q	40,00	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
10	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
11	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
12	19 00			R		42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
13	19 00			Q	40,00	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
14	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
15	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
16	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
17	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
18	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
19	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
20	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
21	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
22	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
23	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
24	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
25	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
26	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
27	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
28	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
29	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
30	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
31	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
32	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
33	19 00	Vale Quatro	Quadrado 10 x 10 cm, 10 cm de espessura	Q	46,75			10	Muito			10 R	10 R	B1	
34	19 00			R		46,75	46,00	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
35	19 00			Q	40,00	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
36	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
37	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
38	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
39	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
40	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
41	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
42	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
43	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
44	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
45	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
46	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
47	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
48	19 00	Cruzeta e Cruzeta	Quadrado 10 x 10 cm, 10 cm de espessura	Q	46,75			10	Muito			10 R	10 R	B1	
49	19 00			R		46,75	46,00	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
50	19 00			Q	40,00	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
51	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
52	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
53	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
54	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
55	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
56	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
57	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
58	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
59	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
60	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
61	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
62	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
63	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
64	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
65	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
66	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
67	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
68	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
69	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
70	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
71	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
72	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
73	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
74	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
75	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
76	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
77	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
78	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
79	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
80	19 00			Q	37,40	42,00	41,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		
81	19 00			R		40,00	39,50	10	Muito	10	Muito	10 R	10 R		

Esclerómetro Portátil (Martelo Schmidt Proceq Tipo L)											
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras											
GEOMECÂNICA											
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP											
Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Litologia	Tipo de Descontinuidade	Litologia	Painel	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de resalto	R	Classe de Resistência R	Classificação da Resistência R	Zonas Geotécnicas
								10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	10 oc (MPa) R (Ábaco Miller)	
1	1.6	Xisto Argiloso Moderadamente Alterado (W4-S)	D	Xisto argiloso	Hastrel W	◀	R	14.00	S4	Baixa	ZG1
2	5		X	Xisto argiloso	Hastrel W	▲	R	22.00	S3	Média	
3	5.4		D	Xisto argiloso	Hastrel W	◀	R	15.00	S4	Baixa	
4	9.7		F	Xisto argiloso	Hastrel W	◀	R	19.90	S4	Baixa	
5	15.1	Xisto Argiloso com Alternância Quartzofíltos São a pouco Alterados (W1-2)	D	Xisto argiloso/Quartzofíltos	Hastrel W	▲	R	15.00	S4	Baixa	ZG2
6	16.5		X	Quartzofíltos	Tecto	/ ◀	R	27.00	S3	Média	
6a	19.55		D	Xisto argiloso	Hastrel W	◀	R	28.00	S3	Média	
7	20.3	Grauvaque e Cornéias Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	D	Cornéias	Hastrel W	◀	R	30.00	S3	Média	ZG3
8	23.00		D	Grauvaque	Hastrel W	◀	R	15.50	S4	Baixa	
9	24.3		X	Grauvaque	Hastrel W	▲	R	24.44	S4	Baixa	
10	30.5		F	Grauvaque	Hastrel W	◀	R	32.00	S3	Média	
11	32		X	Grauvaque	Hastrel W	◀	R	24.80	S3	Média	
11a	33.5		X	Grauvaque e cornéias	Hastrel E	▲	R	38.00	S3	Média	
11b	33.5		X	Grauvaque e cornéias	Hastrel W	◀	R	15.40	S4	Baixa	
12a	35		X	Grauvaque e cornéias	Hastrel W	▼	R	27.00	S3	Média	
12	36.6	Cornéias metapelíticas Quartzosas medianamente Alteradas (W3-2)	F	Quartzos	Hastrel W	◀	R	210.00	S2	Elevada	ZG4
13	43.2		D	Cornéias metapelíticas	Hastrel E	◀	R	23.00	S4	Baixa	
14	50.95		D	Cornéias quartzosas	Hastrel W	◀	R	26.00	S3	Média	
15	56.84		D	Cornéias quartzosas	Hastrel W	◀	R	25.00	S4	Baixa	
16	59.2		D	Cornéias quartzosas	Hastrel W	◀	R	50.00	S3	Média	
16a	60.9		D	Cornéias	Galeria lado W	▼	R	32.50	S3	Média	
16b	61		D	Cornéias	Hastrel W	▼	R	26	S3	Média	
17	62.5		D	Cornéias quartzosas	Hastrel W	◀	R	45.00	S3	Média	
18	70		D	Cornéias quartzosas	Hastrel W	◀	R	58.00	S3	Média	

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)										 LABCARGA LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA E GEOLOGIA APLICADA, ISEP
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras										
GEOMECÂNICA										
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP										
Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Litologia	Tipo de Descontinuidade	Painel	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de resalto	Q	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Zonas Geotécnicas
							10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) Q	
1	1.6	Xisto Argiloso Moderadamente Alterado (W4-S)	D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	ZG1
2	5		X	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
3	5.4		D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	
4	9.7		F	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
5	15.1	Xisto Argiloso com Alternância Quartzofíltos São a pouco Alterados (W1-2)	D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	ZG2
6	16.5		X	Tecto	/ ◀	Q	50.06	S3	Média	
6a	19.55		D	Hastrel W	◀	Q	16.25	S4	Baixa	
7	20.3	Grauvaque e Cornéias Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	D	Hastrel W	◀	Q	20.00	S4	Baixa	ZG3
8	23		D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	
9	24.3		X	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
10	30.5		F	Hastrel W	▲	Q	32.35	S3	Média	
11	32		X	Hastrel W	◀	Q	45.20	S3	Média	
11a	33.5		X	Hastrel E	▲	Q	24.05	S3	Média	
11b	33.5		X	Hastrel W	◀	Q	15.25	S4	Baixa	
12a	35		X	Hastrel W	▼	Q	13.90	S4	Baixa	
12	36.6	Cornéias metapelíticas Quartzosas medianamente Alteradas (W3-2)	F	Hastrel W	◀	Q	78.75	S2	Elevada	ZG4
13	43.2		D	Hastrel E	◀	Q	16.50	S4	Baixa	
14	50.95		D	Hastrel W	◀	Q	23.85	S3	Baixa	
15	56.84		D	Hastrel W	◀	Q	24.80	S3	Média	
16	59.2		D	Hastrel W	◀	Q	50.41	S3	Média	
16a	60.9		D	Galeria lado W	▼	Q	25.55	S3	Média	
16b	61		D	Hastrel W	▼	Q	39.60	S3	Média	
17	62.5		D	Hastrel W	◀	Q	48.05	S3	Média	
18	70		D	Hastrel W	◀	Q	64.55	S2	Elevada	

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)										
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveleiras										
GEOMECÂNICA										
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP										
Estação Geomecânica Nº	Localização da Descontinuidade relativamente à origem (m)	Litologia	Tipo de Descontinuidade	Painel	Orientação do Martelo	Coeficiente da velocidade de resalto	Q	Classe de Resistência Q	Classificação da Resistência Q	Zonas Geotécnicas
							10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) Q	10 oc (MPa) Q	
1	1.6	Xisto Argiloso Moderadamente Alterado (W4-S)	D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	ZG1
2	5		X	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
3	5.4		D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	
4	9.7		F	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
5	15.1	Xisto Argiloso com Alternância Quartzofíltos São a pouco Alterados (W1-2)	D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	ZG2
6	16.5		X	Tecto	/ ◀	Q	30.06	S3	Média	
6a	19.55		D	Hastrel W	◀	Q	16.25	S4	Baixa	
7	20.3	Grauvaque e Cornéias Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	D	Hastrel W	◀	Q	20.00	S4	Baixa	ZG3
8	23		D	Hastrel W	◀	Q	nd	nd	nd	
9	24.3		X	Hastrel W	▲	Q	nd	nd	nd	
10	30.5		F	Hastrel W	▲	Q	32.35	S3	Média	
11	32		X	Hastrel W	◀	Q	45.20	S3	Média	
11a	33.5		X	Hastrel E	▲	Q	24.05	S3	Média	
11b	33.5		X	Hastrel W	◀	Q	15.25	S4	Baixa	
12a	35		X	Hastrel W	▼	Q	13.90	S4	Baixa	
12	36.6	Cornéias metapelíticas Quartzosas medianamente Alteradas (W3-2)	F	Hastrel W	◀	Q	78.75	S2	Elevada	ZG4
13	43.2		D	Hastrel E	◀	Q	16.50	S4	Baixa	
14	50.95		D	Hastrel W	◀	Q	23.85	S3	Média	
15	56.84		D	Hastrel W	◀	Q	24.80	S3	Média	
16	59.2		D	Hastrel W	◀	Q	50.41	S3	Média	
16a	60.9		D	Galeria lado W	▼	Q	25.55	S3	Média	
16b	61		D	Hastrel W	▼	Q	39.60	S3	Média	
17	62.5		D	Hastrel W	◀	Q	48.05	S3	Média	
18	70		D	Hastrel W	◀	Q	64.55	S2	Elevada	

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)											
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveléiras											
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP											
Provete	Localização (m)	Litologia	Coeficiente da velocidade de ressalto	R		Classe de Resistência R (ISRM 1981)		Classificação da Resistência R (ISRM 1981)		Zonas Geotécnicas	
				10 σ_c (MPa) R	10 σ_c (MPa) R (Abaco Miller)	10 R	10 R (Abaco Miller)	10 R	10 R (Abaco Miller)		
1	19.10	Xisto Argiloso com Alternância de Quartzo-filitos São a pouco alterados (W1-5)	R	32.00	51.25	S3	S3	Média	Média	ZG2	
2	19.10		R	35.00	35.83	S3	S3	Média	Média		
3	19.10		R	42.00	51.15	S3	S3	Média	Média		
4	19.10		R	43.40	46.00	S3	S3	Média	Média		
5	19.10		R	42.30	45.00	S3	S3	Média	Média		
6	19.10		R	43.00	45.00	S3	S3	Média	Média		
7	19.10		R	30.00	31.00	S3	S3	Média	Média		
8	19.10		R	42.95	45.90	S3	S3	Média	Média		
9	19.10		R	40.50	40.50	S3	S3	Média	Média		
10	19.10		R	38.10	39.26	S3	S3	Média	Média		
11	19.10		R	30.10	33.25	S3	S3	Média	Média		
12	19.10		R	29.60	30.50	S3	S3	Média	Média		
13	19.10		R	26.00	25.00	S3	S3	Média	Média		
14	19.10		R	39.50	39.25	S3	S3	Média	Média		
15	19.10		R	39.50	41.95	S3	S3	Média	Média		
16	19.10		R	36.25	38.60	S3	S3	Média	Média		
17	19.10		R	32.00	30.15	S3	S3	Média	Média		
18	19.10		R	32.60	38.20	S3	S3	Média	Média		
19	19.10		R	26.95	26.50	S3	S3	Média	Média		
20	19.10		R	29.50	30.50	S3	S3	Média	Média		
21	19.10	Grauwaque e Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alteradas (W3)	R	31.60	30.30	S3	S3	Média	Média	ZG3	
22	30.50		R	33.90	51.65	S3	S3	Média	Média		
23	30.50		R	40.20	68.00	S3	S2	Média	Elevada		
24	30.50		R	25.90	39.50	S3	S3	Média	Média		
25	30.50		R	26.80	41.60	S3	S3	Média	Média		
26	31.40		R	30.10	44.90	S3	S3	Média	Média		
27	31.40		R	41.85	72.00	S3	S2	Média	Elevada		
28	31.40		R	57.45	105.60	S3	S2	Média	Elevada		
29	31.40		R	38.10	64.85	S3	S2	Média	Elevada		
30	31.40		R	39.80	65.60	S3	S2	Média	Elevada		
31	33.50		R	nd	nd	nd	nd	nd	nd		
32	33.50		R	20.90	34.86	S3	S3	Média	Média		
33	36	Fílo Quarto	R	>46.00	240.00	S3	S1	Média	Elevada	Fílo Quarto	
34	36		R	41.65	67.20	S3	S2	Média	Elevada		
35	36		R	43.20	83.90	S3	S2	Média	Elevada		
36	36		R	35.70	62.71	S3	S2	Média	Média		
37	36		R	37.60	64.40	S3	S2	Média	Média		
38	36	Grauwaque e Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	R	>46.00	155.00	S3	S2	Média	Elevada	ZG3	
39	40 → 7,90		R	24,75	39,10	S3	S3	Média	Média		
40	40 → 7,90		R	42,30	85,00	S3	S2	Média	Elevada		
41	40 → 7,90		R	49,25	80,00	S3	S2	Média	Elevada		
42	40 → 7,90		R	34,00	52,00	S3	S3	Média	Elevada		
43	60.50		R	21,80	33,40	S3	S3	Média	Média		
44	60.50		R	22,00	33,60	S3	S3	Média	Média		
45	60.50		R	26,00	40,00	S3	S3	Média	Média		
46	60.50		R	30,10	45,00	S3	S3	Média	Média		
47	60.50		R	48,00	52,45	S3	S3	Média	Elevada		
48	60.50		R	46,00	65,00	S3	S2	Média	Elevada		
49	60.90		R	49,50	80,00	S3	S2	Média	Elevada		
50	60.90	Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alteradas (W3-2)	R	49,00	79,70	S3	S2	Média	Elevada	ZG4	
51	60.90		R	28,00	43,90	S3	S3	Média	Média		
52	60.90		R	31,00	48,00	S3	S3	Média	Elevada		
53	60.90		R	35,00	53,25	S3	S3	Média	Elevada		
54	60.90		R	35,00	49,00	S3	S3	Média	Elevada		
55	63.20		R	35,25	53,40	S3	S3	Média	Elevada		
56	63.20		R	30,00	44,45	S3	S3	Média	Média		
57	63.20		R	22,00	33,70	S3	S3	Média	Média		
58	63.20		R	23,00	34,25	S3	S3	Média	Média		
59	75.00		R	31,00	44,60	S3	S3	Média	Média		
60	75.00		R	27,80	43,12	S3	S3	Média	Média		
61	75.00		R	27,00	41,00	S3	S3	Média	Média		
62	75.00		R	31,00	49,00	S3	S3	Média	Média		
63	75.00		R	28,00	44,40	S3	S3	Média	Média		
64	Duas pintas		R	31,00	46,00	S3	S3	Média	Média		
65	Duas pintas		R	19,50	30,00	S3	S3	Média	Média		
66	Duas pintas		R	26,00	40,00	S3	S3	Média	Média		
67	Duas pintas		R	24,00	35,00	S3	S3	Média	Média		
68	Duas pintas		R	28,10	42,00	S3	S3	Média	Média		
69	Duas pintas		R	25,00	36,00	S3	S3	Média	Média		
70	Duas pintas		R	35,00	52,00	S3	S3	Média	Média		
71	Duas pintas		R	22,25	34,00	S3	S3	Média	Média		
72	Duas pintas		R	25,00	35,00	S3	S3	Média	Média		
73	Duas pintas		R	25,00	39,00	S3	S3	Média	Média		
74	Duas pintas		R	31,00	34,80	S3	S3	Média	Média		
75	Duas pintas		R	20,50	31,00	S3	S3	Média	Média		
76	Duas pintas		R	24,80	35,80	S3	S3	Média	Média		
77	Duas pintas		R	21,15	31,50	S3	S3	Média	Média		
78	Duas pintas			R	34,00	51,00	S3	S3	Média		Média
79	Duas pintas			R	27,00	41,90	S3	S3	Média		Média
80	Duas pintas			R	31,00	48,90	S3	S3	Média		Média
81	Duas pintas			R	28,00	43,00	S3	S3	Média		Média

Esclerómetro Portátil (Martelo SilverSchmidt Proceq Tipo L)							
Mosteiro de Tibães - Mina das Aveléiras							
LABCARGA - Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, ISEP							
Provete	Localização (m)	Litologia	Coeficiente da velocidade de ressalto	Q	Classe de Resistência R (ISRM 1981)	Classificação da Resistência Q (ISRM 1981)	Zonas Geotécnicas
				10 σ_c (MPa) Q	10 Q	10 Q	
1	19.10	Xisto Argiloso com Alternância de Quartzo-filitos São a pouco alterados (W1-2)	Q	48.75	S3	Média	ZG2
2	19.10		Q	40.00	S3	Média	
3	19.10		Q	38.60	S3	Média	
4	19.10		Q	37.40	S3	Média	
5	19.10		Q	47.55	S3	Média	
6	19.10		Q	49.55	S3	Média	
7	19.10		Q	46.25	S3	Média	
8	19.10		Q	32.50	S3	Média	
9	19.10		Q	25.00	S3	Média	
10	19.10		Q	23.45	S3	Média	
11	19.10		Q	17.50	S4	Baixa	
12	19.10		Q	66.25	S2	Elevada	
13	19.10		Q	38.60	S3	Média	
14	19.10		Q	46.05	S3	Média	
15	19.10		Q	39.75	S3	Média	
16	19.10		Q	32.05	S3	Média	
17	19.10		Q	48.25	S3	Média	
18	19.10		Q	46.85	S3	Média	
19	19.10		Q	38.05	S3	Média	
20	19.10		Q	56.25	S3	Média	
21	19.10	Grauwaque e Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	Q	23.75	S3	Média	ZG3
22	30.50		Q	36.70	S3	Média	
23	30.50		Q	80.65	S2	Elevada	
24	30.50		Q	23.60	S3	Média	
25	30.50		Q	22.90	S3	Média	
26	31.40		Q	18.00	S4	Baixa	
27	31.40		Q	57.80	S3	Média	
28	31.40		Q	68.60	S2	Elevada	
29	31.40		Q	40.30	S3	Média	
30	31.40		Q	36.70	S3	Média	
31	33.50		Q	16.60	S4	Baixa	
32	33.50		Q	23.20	S3	Média	
33	36	Fílo Quarto	Q	83.45	S2	Elevada	Fílo Quarto
34	36		Q	79.50	S2	Elevada	
35	36		Q	110.00	S2	Elevada	
36	36		Q	39.80	S3	Média	
37	36		Q	49.65	S3	Média	
38	36	Grauwaque e Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alterada (W3)	Q	84.30	S2	Elevada	ZG3
39	40 → 7.90		Q	21.85	S3	Média	
40	40 → 7.90		Q	56.75	S3	Média	
41	40 → 7.90		Q	55.35	S3	Média	
42	40 → 7.90		Q	48.45	S3	Média	
43	60.50		Q	nd	nd	nd	
44	60.50		Q	23.20	S3	Média	
45	60.50		Q	32.00	S3	Média	
46	60.50		Q	24.80	S3	Média	
47	60.90		Q	67.95	S2	Elevada	
48	60.90		Q	58.70	S3	Média	
49	60.90		Q	78.70	S2	Elevada	
50	60.90	Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alteradas (W3-2)	Q	47.50	S3	Média	ZG4
51	60.90		Q	56.30	S3	Média	
52	60.90		Q	58.75	S3	Média	
53	60.90		Q	32.65	S3	Média	
54	60.90		Q	33.65	S3	Média	
55	63.20		Q	31.70	S3	Média	
56	63.20		Q	23.75	S3	Média	
57	63.20		Q	33.50	S3	Média	
58	63.20		Q	35.70	S3	Média	
59	75.00		Q	33.25	S3	Média	
60	75.00	Comeanas Metapelíticas Quartzosas Medianamente Alteradas (W3-2)	Q	36.35	S3	Média	ZG4
61	75.00		Q	22.55	S3	Média	
62	75.00		Q	22.70	S3	Média	
63	75.00		Q	24.00	S3	Média	
64	Doais pintas		Q	55.85	S3	Média	
65	Doais pintas		Q	18.15	S4	Baixa	
66	Doais pintas		Q	32.15	S3	Média	
67	Doais pintas		Q	23.50	S3	Média	
68	Doais pintas		Q	22.45	S3	Média	
69	Doais pintas		Q	35.55	S3	Média	
70	Doais pintas		Q	22.65	S3	Média	
71	Doais pintas		Q	34.30	S3	Média	
72	Doais pintas		Q	21.35	S3	Média	
73	Doais pintas		Q	21.35	S3	Média	
74	Doais pintas		Q	31.15	S3	Média	
75	Doais pintas		Q	22.25	S3	Média	
76	Doais pintas		Q	21.95	S3	Média	
77	Doais pintas		Q	31.75	S3	Média	
78	Doais pintas		Q	33.65	S3	Média	
79	Doais pintas		Q	24.30	S3	Média	
80	Doais pintas		Q	15.55	S4	Baixa	
81	Doais pintas	Q	22.30	S3	Média		

Anexo II – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual.

	Amostra	Orientação	Dimensões (mm)			P (KN)	Observações
			Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)		
ZG1							
Entrada da mina no hasteal direito	ZG 1.1	//	81,91	53,82	46,08	0	
	ZG 1.2	//	109,25	74,43	52,61	0,1	
	ZG 1.3	//	86,77	77,73	58,12	0	
	ZG 1.4	//	104,38	66,64	66,42	0,1	
	ZG 1.5	//	106,25	60,7	52,46		ensaio rejeitado
	ZG 1.6	//	77,12	51,98	40,82		ensaio rejeitado
	ZG 1.7	//	103,13	82,58	41,5	0,2	ensaio rejeitado
Distância 8,55m no hasteal direito	ZG 1.9	⊥	127,00	92,15	84,08	0,15	
	ZG 1.10	⊥	111,81	64,64	78,59	0,10	ensaio rejeitado
	ZG 1.11	⊥	83,01	63,04	38,55		ensaio rejeitado
	ZG 1.12	⊥	96,22	72,79	40,71		ensaio rejeitado
	ZG 1.13	⊥	84,49	65,48	46,84	0,00	
	ZG 1.14	⊥	98,68	67,16	86,14	0,00	
Distância 8,80m no hasteal direito	ZG 1.15	⊥	90,41	77,52	54,90	0,05	
	ZG 1.16	⊥	64,11	56,59	42,56	0,70	
	ZG 1.17	⊥	131,70	35,00	36,03		ensaio rejeitado
	ZG 1.18	⊥	85,85	79,28	56,23	0,03	
	ZG 1.19	⊥	101,14	61,26	64,16	0,00	
	ZG 1.20	⊥	119,23	105,99	50,13	0,00	
	ZG 1.21	⊥	104,99	95,74	81,41	0,05	
	ZG 1.22	⊥	118,90	100,23	104,49	0,30	
	ZG 1.23	⊥	99,60	85,04	90,03	0,10	
	ZG 1.24	⊥	105,19	73,99	71,41	0,10	
	ZG 1.25	//	111,29	56,57	86,49	0,00	
	ZG 1.26	//	82,08	19,09	39,76	0,00	
	ZG 1.27	//	98,68	67,16	86,14	0,00	
	ZG 1.28	//	117,64	84,31	95,64	0,05	

ZG2							
Distância 18,55m	ZG 2.1	⊥	113,32	69,90	47,27	12,00	
	ZG 2.2	⊥	97,15	84,74	50,58	12,00	
	ZG 2.3	⊥	91,64	52,54	34,60	5,00	
	ZG 2.4	⊥	91,87	49,02	32,35	1,50	
Distância 19,10m	ZG 2.5	⊥	126,87	51,47	35,60	10,00	
	ZG 2.6	⊥	134,32	32,67	38,58	4,00	
	ZG 2.7	⊥	86,68	43,09	32,30	3,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.8	⊥	85,98	41,49	35,77	3,00	
	ZG 2.9	⊥	86,15	45,05	38,23	3,00	
	ZG 2.10	⊥	132,33	36,69	33,53	5,00	
	ZG 2.11	⊥	108,53	49,45	37,74	8,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.12	⊥	117,23	51,04	32,98	2,00	
	ZG 2.13	⊥	125,03	43,32	39,05	6,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.14	⊥	97,10	40,14	43,35	1,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.15	⊥	92,87	41,40	53,40	5,00	
	ZG 2.16	⊥	151,08	30,98	36,69	4,00	
	ZG 2.17	⊥	138,64	51,77	43,12	4,00	
	ZG 2.18	⊥	145,30	52,94	34,29	9,00	
	ZG 2.19	⊥	109,66	54,83	35,36	8,00	
	ZG 2.20	⊥	92,87	41,40	53,40	5,00	
	ZG 2.21	//	151,08	30,98	36,69	4,00	
	ZG 2.22	//	138,64	51,77	43,12	4,00	
	ZG 2.23	//	145,30	52,94	34,29	9,00	
	ZG 2.24	//	109,66	54,83	35,36	8,00	
	ZG 2.25	//	112,13	37,13	41,50	2,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.26	//	99,21	34,07	46,52	2,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.27	//	75,76	61,15	36,98	7,00	
	ZG 2.28	//	118,60	48,85	31,65	12,00	
	ZG 2.29	//	66,45	54,59	34,18	7,00	
	ZG 2.30	//	77,10	55,37	54,42	4,00	
	ZG 2.31	//	90,14	57,50	35,91	0,80	
	ZG 2.32	//	98,90	44,43	53,57	2,50	ensaio rejeitado
	ZG 2.33	//	117,40	46,85	30,76	7,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.34	//	78,81	70,89	47,48	4,00	
	ZG 2.35	//	105,02	58,98	41,60	4,00	
	ZG 2.36	//	77,10	55,37	54,42	4,00	
	ZG 2.37	//	100,04	56,01	52,40	0,80	
	ZG 2.38	//	91,64	52,54	34,60	5,00	
	ZG 2.39	//	118,84	39,46	42,17	2,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.40	//	86,20	32,36	40,28	4,00	ensaio rejeitado
	ZG 2.41	//	78,22	39,85	50,88	6,50	
	ZG 2.42	//	65,34	38,66	42,45	5,50	
Distância 19,85m	ZG 2.43	⊥	88,62	71,89	63,64	5,35	
	ZG 2.44	⊥	97,96	73,90	48,58	2,60	
	ZG 2.45	⊥	156,56	56,25	61,46	0,20	ensaio rejeitado
	ZG 2.46	⊥	108,20	111,00	64,45	9,00	
	ZG 2.47	⊥	84,86	77,56	65,78	17,00	
	ZG 2.48	⊥	106,73	65,89	38,18	12,00	

ZG3							
Distância 30,50m no hasteal direito	ZG 3.1	⊥	100,76	69,95	33,53	11,00	
	ZG 3.2	⊥	68,83	63,83	38,34	5,00	
	ZG 3.3	⊥	130,58	67,18	35,84	13,00	
	ZG 3.4	⊥	78,19	41,68	47,98	5,00	ensaio rejeitado
	ZG 3.5	⊥	80,20	59,30	49,41	11,00	
Distância 31,40m no hasteal esquerdo	ZG 3.3.1	//	126,64	30,95	28,57	0,00	
	ZG 3.3.2	//	122,94	35,23	32,36	0,00	
	ZG 3.3.3	//	130,27	38,68	34,51	0,00	
	ZG 3.3.4	//	121,25	35,87	44,01	0,00	ensaio rejeitado
	ZG 3.3.5	//	126,09	32,26	37,07	0,00	
Distância 33,50m no hasteal esquerdo	ZG 3.3.3.1	⊥	91,60	82,15	66,11	0,55	
	ZG 3.3.3.2	⊥	152,20	71,37	79,59	0,25	
	ZG 3.3.3.3	⊥	104,61	58,72	63,50	0,00	
	ZG 3.3.3.4	⊥	73,76	53,63	46,95	0,10	
	ZG 3.3.3.5	⊥	78,67	80,07	54,08	0,25	
	ZG 3.3.3.6	⊥	102,13	89,57	51,09	0,10	
	ZG 3.3.3.7	⊥	99,57	71,73	89,90	0,00	
	ZG 3.3.3.8	⊥	86,74	74,04	68,17	0,10	
	ZG 3.3.3.9	⊥	74,23	50,94	41,96	0,00	
	ZG 3.3.3.10	⊥	71,71	46,31	38,18	0,05	
	ZG 3.3.3.11	⊥	77,46	49,40	42,64	0,00	
	ZG 3.3.3.12	⊥	97,31	62,14	62,07	0,03	
	ZG 3.3.3.13	⊥	177,24	67,32	24,20	1,30	
	ZG 3.3.3.14	⊥	107,09	58,01	55,39	0,10	
	ZG 3.3.3.15	⊥	122,77	56,63	55,86	0,30	
	ZG 3.3.3.16	⊥	113,75	88,29	48,50	0,30	
	ZG 3.3.3.17	⊥	92,09	93,43	58,81	0,00	
	ZG 3.3.3.18	⊥	106,18	85,59	56,38	2,70	
Distância 33,50m no hasteal direito	ZG 3.3.3.20	⊥	95,54	63,44	53,15	0,30	
	ZG 3.3.3.21	⊥	141,88	75,57	50,47	1,10	
	ZG 3.3.3.22	⊥	137,75	86,86	66,63		ensaio rejeitado
	ZG 3.3.3.23	⊥	126,54	66,83	45,13	4,10	
	ZG 3.3.3.24	⊥	156,56	59,86	53,20	0,10	
	ZG 3.3.3.25	⊥	142,79	79,40	41,31	0,20	
	ZG 3.3.3.26	⊥	110,64	60,46	49,41	0,20	
	ZG 3.3.3.27	⊥	135,11	60,80	49,87	2,90	
Distância 36,00m no hasteal esquerdo	ZG 3.3.3.28	⊥	144,76	56,33	50,14	0,10	
	ZG 3.3.3.3.1	//	91,92	38,40	31,52	4,00	
	ZG 3.3.3.3.2	//	91,99	35,86	34,24	2,00	
	ZG 3.3.3.3.3	//	72,90	51,57	29,66	3,50	
	ZG 3.3.3.3.4	//	89,15	32,21	38,38	0,00	ensaio rejeitado
	ZG 3.3.3.3.5	//	84,54	53,40	33,63	4,00	
Distância de 40m do inicio da galeria direita, recolha das amostras aos 7,9m	ZG 3.3.3.3.6	//	72,89	51,19	27,90	0,00	
	ZG3.3.3.3.7	//	103,92	34,75	41,61	7,00	
	ZG3.3.3.3.8	//	63,42	39,68	44,87	8,00	ensaio rejeitado
	ZG3.3.3.3.9	//	78,82	39,21	41,28	6,00	
	ZG3.3.3.3.10	//	84,94	50,77	34,07	9,00	
	ZG3.3.3.3.11	//	90,14	45,21	28,00	7,00	
	ZG3.3.3.3.12	//	105,90	47,94	32,55	1,50	
	ZG3.3.3.3.13	//	100,87	30,01	35,46	8,00	
	ZG3.3.3.3.14	//	107,42	35,86	32,51	4,00	ensaio rejeitado
	ZG3.3.3.3.15	//	104,82	40,86	30,80	6,00	ensaio rejeitado
	ZG3.3.3.3.16	//	93,62	53,56	36,74	4,00	
	ZG3.3.3.3.17	//	113,09	43,00	28,74	5,00	ensaio rejeitado
	ZG3.3.3.3.18	//	97,00	41,40	42,54	7,00	
	ZG3.3.3.3.19	//	88,39	36,13	34,40	7,00	
	ZG3.3.3.3.20	//	88,14	35,27	30,19	6,00	

ZG4							
Distância 60,50m no hasteal direito	ZG 4.1	⊥	70,81	39,45	36,47	5,00	
	ZG 4.2	⊥	85,06	50,79	37,24	10,50	
	ZG 4.3	⊥	77,76	52,02	34,20	2,00	
	ZG 4.4	⊥	66,22	63,15	33,77	3,00	
	ZG 4.5	⊥	77,50	69,25	44,62	10,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.6	⊥	87,94	68,80	34,20	2,00	
	ZG 4.7	⊥	80,77	63,91	48,78	6,00	
	ZG 4.8	⊥	71,11	67,38	36,14	9,00	
	ZG 4.9	⊥	69,70	50,16	41,71	10,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.10	⊥	64,41	59,62	56,62	15,00	
	ZG 4.11	⊥	74,46	64,20	47,90	9,00	
	ZG 4.12	⊥	75,49	53,74	46,62	7,00	
	ZG 4.13	⊥	120,12	47,40	64,28	9,00	
Distância 60,90m no hasteal direito	ZG 4.14	//	109,96	39,36	33,02	2,00	
	ZG 4.15	//	125,01	38,35	38,57	4,00	
	ZG 4.16	//	119,19	35,41	28,78	4,00	
	ZG 4.17	//	109,60	46,20	33,36	8,00	
	ZG 4.18	//	72,88	44,00	44,63	2,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.19	//	115,85	32,16	33,06	5,00	
	ZG 4.20	⊥	120,12	47,40	64,28	9,00	
	ZG 4.21	⊥	98,85	55,96	59,03	5,05	
	ZG 4.22	⊥	92,36	50,28	67,42	9,00	
	ZG 4.23	⊥	122,37	54,25	61,62		ensaio rejeitado
	ZG 4.24	⊥	121,36	61,94	48,04	9,50	
	ZG 4.25	⊥	107,01	69,77	57,77		ensaio rejeitado
	ZG 4.26	⊥	114,51	61,82	93,20		ensaio rejeitado
	ZG 4.27	⊥	105,50	54,00	43,60	11,00	
	ZG 4.28	⊥	114,20	77,55	45,56	21,00	
	ZG 4.29	⊥	132,35	63,61	28,54	4,80	
	ZG 4.30	⊥	130,01	59,69	32,32	4,85	
	ZG 4.31	⊥	104,72	58,03	29,51	4,35	
	ZG 4.32	⊥	81,98	81,83	29,89	11,00	
	ZG 4.33	⊥	91,01	82,18	32,71	8,50	
	ZG 4.34	⊥	132,39	85,96	43,69	15,00	
	ZG 4.35	⊥	109,46	65,33	57,62	12,00	
	ZG 4.36	⊥	96,75	56,86	59,64	10,00	
	ZG 4.37	⊥	105,16	64,17	32,36	5,30	
	ZG 4.38	⊥	99,61	67,84	30,22	11,50	
	ZG 4.39	⊥	81,92	47,50	39,39	9,00	
	ZG 4.40	//	106,32	43,69	36,71	15,00	
	ZG 4.41	//	114,91	63,16	36,02	15,00	
	ZG 4.42	//	108,26	58,38	33,92	16,50	ensaio rejeitado
	ZG 4.43	//	84,85	54,31	65,19	1,50	ensaio rejeitado
	ZG 4.44	//	86,73	36,33	43,87	4,00	
Distância 62,00m no hasteal direito	ZG 4.45	//	103,25	37,02	41,76		ensaio rejeitado
	ZG 4.46	//	85,97	42,62	54,40	5,00	
	ZG 4.47	//	132,76	38,49	38,65		ensaio rejeitado
	ZG 4.48	//	135,45	30,36	37,83	10,00	
	ZG 4.49	//	133,52	43,06	34,49	4,00	
	ZG 4.50	//	132,35	37,00	35,91	5,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.51	//	129,34	39,53	57,88	5,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.4.4.4.9	⊥	100,80	46,02	45,82	2,00	
	ZG 4.4.4.4.10	⊥	98,98	41,62	41,63	5,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.4.4.4.11	⊥	87,14	56,59	38,26	15,00	
Distância 63,20m no hasteal esquerdo	ZG 4.4.4.4.12	⊥	67,19	48,49	51,82	4,00	ensaio rejeitado
	ZG 4.4.4.4.13	⊥	88,73	48,06	32,89	10,00	
	ZG 4.4.4.4.14	⊥	113,15	38,98	37,26	16,00	
	ZG 4.4.4.4.15	⊥	80,57	48,99	46,08	6,00	
	ZG 4.4.4.4.16	⊥	104,70	33,96	39,12	10,00	
	ZG 4.4.4.4.17	⊥	108,56	40,66	40,73	5,00	
	ZG 4.4.4.4.18	⊥	83,58	44,54	42,14	6,00	
	ZG 4.4.4.4.19	⊥	84,13	31,23	31,74	14,00	
	ZG 4.4.4.4.20	⊥	72,91	66,67	74,06	29,00	
	ZG 4.4.4.4.21	⊥	80,21	58,91	40,24	10,00	
	ZG 4.4.4.4.22	⊥	58,72	52,39	44,86	14,00	
	ZG 4.4.4.4.23	⊥	57,00	52,42	42,70	14,00	
	ZG 4.4.4.4.24	⊥	83,73	52,54	82,52	12,00	
	ZG 4.4.4.4.25	⊥	82,14	46,65	80,97	15,00	
	ZG 4.4.4.4.26	⊥	104,09	60,58	51,68	15,00	
	ZG 4.4.4.4.27	⊥	74,94	52,66	76,79	21,00	

ZG4							
	1,00	⊥	112,86	49,22	42,27	17,00	
	2,00	⊥	98,52	52,35	62,69	17,00	ensaio rejeitado
	3,00	⊥	101,39	87,98	61,09	17,00	
	4,00	⊥	85,84	67,20	35,29	14,00	
	5,00	⊥	103,05	82,87	65,22	16,50	
	6,00	⊥	91,00	86,70	57,94	18,00	
	7,00	⊥	121,11	52,61	54,20	17,00	
	8,00	⊥	100,16	66,00	45,60	18,00	
	9,00	⊥	111,28	46,97	44,22	12,00	
	10,00	⊥	111,18	39,45	62,40	18,00	
	11,00	⊥	105,53	74,45	55,52	18,00	ensaio rejeitado
	12,00	⊥	74,13	62,52	61,50	17,00	
	13,00	⊥	84,05	60,50	51,21	18,00	
	14,00	⊥	140,00	56,95	48,49	18,00	
	15,00	⊥	147,73	54,38	44,54	18,00	
	16,00	⊥	144,04	44,74	50,33	18,00	
	17,00	⊥	119,51	54,85	52,00	17,00	ensaio rejeitado
	18,00	⊥	120,63	75,58	62,84	18,00	
	19,00	⊥	155,17	54,66	47,45	17,00	
	20,00	⊥	101,04	57,82	54,85	19,00	
	21,00	⊥	102,83	89,54	55,55	18,00	
	22,00	⊥	65,41	59,30	48,86	19,00	
	23,00	⊥	106,23	42,71	66,69	11,00	
	24,00	⊥	105,14	64,05	52,36	17,00	
	25,00	⊥	111,28	66,60	51,66	10,00	
	26,00	⊥	147,51	60,35	48,58	10,00	
Distância 75m no hasteal esquerdo	1.1	⊥	70,64	59,15	45,40	1,90	
	2.2	⊥	78,73	43,71	59,71	5,00	ensaio rejeitado
	3.3	⊥	104,30	59,53	38,22	15,00	
	3.4	//	84,85	54,31	65,19	1,50	ensaio rejeitado
	3.5	//	86,73	36,33	43,87	4,00	
	3.6	//	103,23	37,02	41,76		ensaio rejeitado
	3.7	//	85,97	42,62	54,40	5,00	
	3.8	//	132,76	38,49	38,65	3,50	ensaio rejeitado
	3.9	//	135,45	30,36	37,83	10,00	
	3.10	//	133,52	43,06	34,,49	4,00	
	3.11	//	132,35	37,00	35,91	5,00	ensaio rejeitado
	3.12	//	129,34	39,53	57,88	5,00	ensaio rejeitado

	Amostra	Orientação	Dimensões (mm)			P (KN)	D/W	Observações		
			Comprimento (mm)	(W) Largura (mm)	(D) Altura (mm)					
ZG1										
Distância 8,55m no hasteal direito	ZG1.1	┴	127,00	92,15	84,08	0,15	0,91			
	ZG1.2	┴	84,49	65,48	46,84	0,00	0,72			
Distância 8,80m no hasteal direito	ZG1.3	┴	90,41	77,52	54,90	0,05	0,71			
	ZG1.4	┴	64,11	56,59	42,56	0,70	0,75			
	ZG1.5	┴	85,85	79,28	56,23	0,03	0,71			
	ZG1.6	┴	101,14	61,26	64,16	0,00	1,05	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado	
	ZG1.7	┴	119,23	105,99	50,13	0,00	0,47			
	ZG1.8	┴	104,99	95,74	81,41	0,05	0,85			
	ZG1.9	┴	118,90	100,23	104,49	0,30	1,04	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado	
	ZG1.10	┴	99,60	85,04	90,03	0,10	1,06	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado	
	ZG1.11	┴	105,19	73,99	71,41	0,10	0,97			
	Distância 8,80m no hasteal direito	ZG1.12	//	111,29	56,57	86,49	0,00	1,53	D/W > 1	valor muito superior a 1
ZG1.13		//	82,08	19,09	39,76	0,00	2,08	D/W > 1	valor muito superior a 1	
ZG1.14		//	98,68	67,16	86,14	0,00	1,28	D/W > 1	valor muito superior a 1	
ZG1.15		//	117,64	84,31	95,64	0,05	1,13	D/W > 1	valor muito superior a 1	
ZG2										
Distância 18,55 m no hasteal direito	ZG 2.1	┴	113,32	69,90	47,27	12,00	0,68			
	ZG 2.2	┴	97,15	84,74	50,58	12,00	0,60			
	ZG 2.3	┴	91,64	52,54	34,60	5,00	0,66			
	ZG 2.4	┴	91,87	49,02	32,35	1,50	0,66			
Distância 19,10 m no hasteal direito	ZG 2.5	┴	126,87	51,47	35,60	10,00	0,69			
	ZG 2.6	┴	134,32	32,67	38,58	4,00	1,18	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.7	┴	85,98	41,49	35,77	3,00	0,86			
	ZG 2.8	┴	86,15	45,05	38,23	3,00	0,85			
	ZG 2.9	┴	132,33	36,69	33,53	5,00	0,91			
	ZG 2.10	┴	117,23	51,04	32,98	2,00	0,65			
	ZG 2.11	┴	92,87	41,40	53,40	5,00	1,29	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.12	┴	151,08	30,98	36,69	4,00	1,18	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.13	┴	138,64	51,77	43,12	4,00	0,83			
	ZG 2.14	┴	145,30	52,94	34,29	9,00	0,65			
	ZG 2.15	┴	109,66	54,83	35,36	8,00	0,64			
	ZG 2.16	┴	92,87	41,40	53,40	5,00	1,29	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	Distância 19,85 m no hasteal direito	ZG 2.17	┴	88,62	71,89	63,64	5,35	0,89		
ZG 2.18		┴	97,96	73,90	48,58	2,60	0,66			
ZG 2.19		┴	108,20	111,00	64,45	9,00	0,58			
ZG 2.20		┴	84,86	77,56	65,78	17,00	0,85			
ZG 2.21		┴	106,73	65,89	38,18	12,00	0,58			
Distância 19,10 m no hasteal direito	ZG 2.22	//	151,08	30,98	36,69	4,00	1,18	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.23	//	138,64	51,77	43,12	4,00	0,83			
	ZG 2.24	//	145,30	52,94	34,29	9,00	0,65			
	ZG 2.25	//	109,66	54,83	35,36	8,00	0,64	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.26	//	112,13	37,13	41,50	2,00	1,12	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.27	//	118,60	48,85	31,65	12,00	0,65			
	ZG 2.28	//	66,45	54,59	34,18	7,00	0,63			
	ZG 2.29	//	77,10	55,37	54,42	4,00	0,98			
	ZG 2.30	//	90,14	57,50	35,91	0,80	0,62			
	ZG 2.31	//	78,81	70,89	47,48	4,00	0,67			
	ZG 2.32	//	105,02	58,98	41,60	4,00	0,71			
	ZG 2.33	//	77,10	55,37	54,42	4,00	0,98			
	ZG 2.34	//	100,04	56,01	52,40	0,80	0,94			
	ZG 2.35	//	91,64	52,54	34,60	5,00	0,66			
	ZG 2.36	//	118,84	39,46	42,17	2,00	1,07	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado	
	ZG 2.37	//	78,22	39,85	50,88	6,50	1,28	D/W > 1	valor muito superior a 1	
	ZG 2.38	//	65,34	38,66	42,45	5,50	1,10	D/W > 1	valor muito superior a 1	
ZG 2.39	//	57,07	48,78	37,30	5,00	0,76				

ZG3								
Distância 30,50 m no hasteal direito	ZG 3.1	↓	100,76	69,95	33,53	11,00	0,48	
	ZG 3.2	↓	68,83	63,83	38,34	5,00	0,60	
	ZG 3.3	↓	130,58	67,18	35,84	13,00	0,53	
	ZG 3.4	↓	80,20	59,30	49,41	11,00	0,83	
Distância 33,50 m no hasteal esquerdo	ZG 3.5	↓	91,60	82,15	66,11	0,55	0,80	
	ZG 3.6	↓	152,20	71,37	79,59	0,25	1,12	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.7	↓	104,61	58,72	63,50	0,00	1,08	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.8	↓	73,76	53,63	46,95	0,10	0,88	
	ZG 3.9	↓	78,67	80,07	54,08	0,25	0,68	
	ZG 3.10	↓	102,13	89,57	51,09	0,10	0,57	
	ZG 3.11	↓	99,57	71,73	89,90	0,00	1,25	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.12	↓	86,74	74,04	68,17	0,10	0,92	
	ZG 3.13	↓	74,23	50,94	41,96	0,00	0,82	
	ZG 3.14	↓	71,71	46,31	38,18	0,05	0,82	
	ZG 3.15	↓	77,46	49,40	42,64	0,00	0,86	
	ZG 3.16	↓	97,31	62,14	62,07	0,03	1,00	
	ZG 3.17	↓	177,24	67,32	24,20	1,30	0,36	
	ZG 3.18	↓	107,09	58,01	55,39	0,10	0,95	
	ZG 3.19	↓	122,77	56,63	55,86	0,30	0,99	
	ZG 3.20	↓	113,75	88,29	48,50	0,30	0,55	
	ZG 3.21	↓	92,09	93,43	58,81	0,00	0,63	
	ZG 3.22	↓	106,18	85,59	56,38	2,70	0,66	
	ZG 3.23	↓	95,54	63,44	53,15	0,30	0,84	
	ZG 3.24	↓	141,88	75,57	50,47	1,10	0,67	
Distância 33,50 m no hasteal direito	ZG 3.25	↓	126,54	66,83	45,13	4,10	0,68	
	ZG 3.26	↓	156,56	59,86	53,20	0,10	0,89	
	ZG 3.27	↓	142,79	79,40	41,31	0,20	0,52	
	ZG 3.28	↓	110,64	60,46	49,41	0,20	0,82	
	ZG 3.29	↓	135,11	60,80	49,87	2,90	0,82	
	ZG 3.30	↓	144,76	56,33	50,14	0,10	0,89	
	ZG 3.31	//	126,64	30,95	28,57	0,00	0,92	
Distância 31,40 m no hasteal esquerdo	ZG 3.32	//	122,94	35,23	32,36	0,00	0,92	
	ZG 3.33	//	130,27	38,68	34,51	0,00	0,89	
	ZG 3.34	//	126,09	32,26	37,07	0,00	1,15	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.35	//	91,92	38,40	31,52	4,00	0,82	
Distância 36,00 m no hasteal esquerdo	ZG 3.36	//	91,99	35,86	34,24	2,00	0,95	
	ZG 3.37	//	72,90	51,57	29,66	3,50	0,58	
	ZG 3.38	//	84,54	53,40	33,63	4,00	0,63	
	ZG 3.39	//	72,89	51,19	27,90	0,00	0,55	
	ZG 3.40	//	103,92	34,75	41,61	7,00	1,20	D/W > 1 valor muito superior a 1
distância de 40 m do início da galeria direita, recolha das amostras aos 7,9m	ZG 3.41	//	78,82	39,21	41,28	6,00	1,05	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.42	//	84,94	50,77	34,07	9,00	0,67	
	ZG 3.43	//	90,14	45,21	28,00	7,00	0,62	
	ZG 3.44	//	105,90	47,94	32,55	1,50	0,68	
	ZG 3.45	//	100,87	30,01	35,46	8,00	1,18	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.46	//	93,62	53,56	36,74	4,00	0,69	
	ZG 3.47	//	97,00	41,40	42,54	7,00	1,03	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.48	//	88,39	36,13	34,40	7,00	0,95	
	ZG 3.49	//	88,14	35,27	30,19	6,00	0,86	
ZG4								
Filão de Quartzo	Q1		105,59	48,40	46,44	14,00	0,96	
	Q2		113,05	59,63	32,37	8,50	0,54	
	Q3		89,01	47,06	34,34	19,00	0,73	
	Q4		95,05	35,88	35,18	7,00	0,98	
	Q5		70,28	52,38	30,87	19,00	0,59	
	Q6		65,82	52,57	28,82	16,00	0,55	
Distância 60,50 m no hasteal direito	ZG 4.1	↓	70,81	39,45	36,47	5,00	0,92	
	ZG 4.2	↓	85,06	50,79	37,24	10,50	0,73	
	ZG 4.3	↓	77,76	52,02	34,20	2,00	0,66	
	ZG 4.4	↓	66,22	63,15	33,77	3,00	0,53	
	ZG 4.5	↓	87,94	68,80	34,20	2,00	0,50	
	ZG 4.6	↓	80,77	63,91	48,78	6,00	0,76	
	ZG 4.7	↓	71,11	67,38	36,14	9,00	0,54	
	ZG 4.8	↓	64,41	59,62	56,62	15,00	0,95	
	ZG 4.9	↓	74,46	64,20	47,90	9,00	0,75	
	ZG 4.10	↓	75,49	53,74	46,62	7,00	0,87	
	ZG 4.11	↓	120,12	47,40	64,28	9,00	1,36	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.16	↓	120,12	47,40	64,28	9,00	1,36	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.17	↓	98,85	55,96	59,03	5,05	1,05	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.18	↓	92,36	50,28	67,42	9,00	1,34	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.19	↓	121,36	61,94	48,04	9,50	0,78	
	ZG 4.20	↓	105,50	54,00	43,60	11,00	0,81	
	ZG 4.21	↓	114,20	77,55	45,56	21,00	0,59	
	ZG 4.22	↓	132,35	63,61	28,54	4,80	0,45	
	ZG 4.23	↓	130,01	59,69	32,32	4,85	0,54	
	ZG 4.24	↓	104,72	58,03	29,51	4,35	0,51	
	ZG 4.25	↓	81,98	81,83	29,89	11,00	0,37	
	ZG 4.26	↓	91,01	82,18	32,71	8,50	0,40	
	ZG 4.27	↓	132,39	85,96	43,69	15,00	0,51	
	ZG 4.28	↓	109,46	65,33	57,62	12,00	0,88	
	ZG 4.29	↓	96,75	56,86	59,64	10,00	1,05	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 4.30	↓	105,16	64,17	32,36	5,30	0,50	
	ZG 4.31	↓	99,61	67,84	30,22	11,50	0,45	
	ZG 4.32	↓	81,92	47,50	39,39	9,00	0,83	

Distância 63,20 m no hasteal esquerdo	ZG 4.41	┴	100,80	46,02	45,82	2,00	1,00		
	ZG 4.42	┴	87,14	56,59	38,26	15,00	0,68		
	ZG 4.43	┴	88,73	48,06	32,89	10,00	0,68		
	ZG 4.44	┴	113,15	38,98	37,26	16,00	0,96		
	ZG 4.45	┴	80,57	48,99	46,08	6,00	0,94		
	ZG 4.46	┴	104,70	33,96	39,12	10,00	1,15	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.47	┴	108,56	40,66	40,73	5,00	1,00		
	ZG 4.48	┴	83,58	44,54	42,14	6,00	0,95		
	ZG 4.49	┴	84,13	31,23	31,74	14,00	1,02	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	ZG 4.50	┴	98,98	41,62	41,63	5,00	1,00		
	ZG 4.51	┴	87,14	56,59	38,26	15,00	0,68		
	ZG 4.52	┴	67,19	48,49	51,82	4,00	1,07	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	ZG 4.53	┴	88,73	48,06	32,89	10,00	0,68		
	ZG 4.54	┴	113,15	38,98	37,26	16,00	0,96		
	ZG 4.55	┴	80,57	48,99	46,08	6,00	0,94		
	ZG 4.56	┴	104,70	33,96	39,12	10,00	1,15	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.57	┴	108,56	40,66	40,73	5,00	1,00		
	ZG 4.58	┴	83,58	44,54	42,14	6,00	0,95		
	ZG 4.59	┴	84,13	31,23	31,74	14,00	1,02	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	ZG 4.60	┴	72,91	66,67	74,06	29,00	1,11	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.61	┴	80,21	58,91	40,24	10,00	0,68		
	ZG 4.62	┴	58,72	52,39	44,86	14,00	0,86		
	ZG 4.63	┴	57,00	52,42	42,70	14,00	0,81		
	ZG 4.64	┴	83,73	52,54	82,52	12,00	1,57	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.65	┴	82,14	46,65	80,97	15,00	1,74	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.66	┴	104,09	60,58	51,68	15,00	0,85		
	ZG 4.67	┴	74,94	52,66	76,79	21,00	1,46	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.68	//	106,32	43,69	36,71	15,00	0,84		
	ZG 4.69	//	114,91	63,16	36,02	15,00	0,57		
	ZG 4.70	//	86,73	36,33	43,87	4,00	1,21	D/W > 1	valor muito superior a 1
Distância 60,50 m no hasteal direito	ZG 4.71	//	85,97	42,62	54,40	5,00	1,28	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.72	//	135,45	30,36	37,83	10,00	1,25	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.73	//	133,52	43,06	34,49	4,00	0,80		
	ZG 4.74	//	132,35	37,00	35,91	5,00	0,97		
	ZG 4.75	//	129,34	39,53	57,88	5,00	1,46	D/W > 1	valor muito superior a 1
	ZG 4.76	//	109,96	39,36	33,02	2,00	0,84		
Distância 60,90 m na hasteal direito	ZG 4.77	//	125,01	38,35	38,57	4,00	1,01	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	ZG 4.78	//	119,19	35,41	28,78	4,00	0,81		
	ZG 4.79	//	109,60	46,20	33,36	8,00	0,72		
ZG4									
	1	┴	112,86	49,22	42,27	17,00	0,86		
	2	┴	101,39	87,98	61,09	17,00	0,69		
	3	┴	85,84	67,20	35,29	14,00	0,53		
	4	┴	103,05	82,87	65,22	16,50	0,79		
	5	┴	91,00	86,70	57,94	18,00	0,67		
	6	┴	121,11	52,61	54,20	17,00	1,03	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	7	┴	100,16	66,00	45,60	18,00	0,69		
	8	┴	111,28	46,97	44,22	12,00	0,94		
	9	┴	111,18	39,45	62,40	18,00	1,58	D/W > 1	valor muito superior a 1
	10	┴	74,13	62,52	61,50	17,00	0,98		
	11	┴	84,05	60,50	51,21	18,00	0,85		
	12	┴	140,00	56,95	48,49	18,00	0,85		
	13	┴	147,73	54,38	44,54	18,00	0,82		
	14	┴	144,04	44,74	50,33	18,00	1,12	D/W > 1	valor muito superior a 1
	15	┴	120,63	75,58	62,84	18,00	0,83		
	16	┴	155,17	54,66	47,45	17,00	0,87		
	17	┴	101,04	57,82	54,85	19,00	0,95		
	18	┴	102,83	89,54	55,55	18,00	0,62		
	19	┴	65,41	59,30	48,86	19,00	0,82		
	20	┴	106,23	42,71	66,69	11,00	1,56	D/W > 1	valor muito superior a 1
	21	┴	105,14	64,05	52,36	17,00	0,82		
	22	┴	111,28	66,60	51,66	10,00	0,78		
	23	┴	147,51	60,35	48,58	10,00	0,80		
Distância 75 m no hasteal esquerdo	24	┴	70,64	59,15	45,40	1,90	0,77		
	25	┴	104,30	59,53	38,22	15,00	0,64		
	26	//	86,73	36,33	43,87	4,00	1,21	D/W > 1	valor muito superior a 1
	27	//	85,97	42,62	54,40	5,00	1,28	D/W > 1	valor muito superior a 1
	28	//	135,45	30,36	37,83	10,00	1,25	D/W > 1	valor muito superior a 1
	29	//	133,52	43,06	34,49	4,00	0,80		

ZG3								
Distância 30,50 m no hasteal direito	ZG 3.1	↓	100,76	69,95	33,53	11,00	0,48	
	ZG 3.2	↓	68,83	63,83	38,34	5,00	0,60	
	ZG 3.3	↓	130,58	67,18	35,84	13,00	0,53	
	ZG 3.4	↓	80,20	59,30	49,41	11,00	0,83	
Distância 33,50 m no hasteal esquerdo	ZG 3.5	↓	91,60	82,15	66,11	0,55	0,80	
	ZG 3.6	↓	152,20	71,37	79,59	0,25	1,12	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.7	↓	104,61	58,72	63,50	0,00	1,08	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.8	↓	73,76	53,63	46,95	0,10	0,88	
	ZG 3.9	↓	78,67	80,07	54,08	0,25	0,68	
	ZG 3.10	↓	102,13	89,57	51,09	0,10	0,57	
	ZG 3.11	↓	99,57	71,73	89,90	0,00	1,25	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.12	↓	86,74	74,04	68,17	0,10	0,92	
	ZG 3.13	↓	74,23	50,94	41,96	0,00	0,82	
	ZG 3.14	↓	71,71	46,31	38,18	0,05	0,82	
	ZG 3.15	↓	77,46	49,40	42,64	0,00	0,86	
	ZG 3.16	↓	97,31	62,14	62,07	0,03	1,00	
	ZG 3.17	↓	177,24	67,32	24,20	1,30	0,36	
	ZG 3.18	↓	107,09	58,01	55,39	0,10	0,95	
	ZG 3.19	↓	122,77	56,63	55,86	0,30	0,99	
	ZG 3.20	↓	113,75	88,29	48,50	0,30	0,55	
	ZG 3.21	↓	92,09	93,43	58,81	0,00	0,63	
	ZG 3.22	↓	106,18	85,59	56,38	2,70	0,66	
Distância 33,50 m no hasteal direito	ZG 3.23	↓	95,54	63,44	53,15	0,30	0,84	
	ZG 3.24	↓	141,88	75,57	50,47	1,10	0,67	
	ZG 3.25	↓	126,54	66,83	45,13	4,10	0,68	
	ZG 3.26	↓	156,56	59,86	53,20	0,10	0,89	
	ZG 3.27	↓	142,79	79,40	41,31	0,20	0,52	
	ZG 3.28	↓	110,64	60,46	49,41	0,20	0,82	
	ZG 3.29	↓	135,11	60,80	49,87	2,90	0,82	
	ZG 3.30	↓	144,76	56,33	50,14	0,10	0,89	
Distância 31,40 m no hasteal esquerdo	ZG 3.31	//	126,64	30,95	28,57	0,00	0,92	
	ZG 3.32	//	122,94	35,23	32,36	0,00	0,92	
	ZG 3.33	//	130,27	38,68	34,51	0,00	0,89	
	ZG 3.34	//	126,09	32,26	37,07	0,00	1,15	D/W > 1 valor muito superior a 1
Distância 36,00 m no hasteal esquerdo	ZG 3.35	//	91,92	38,40	31,52	4,00	0,82	
	ZG 3.36	//	91,99	35,86	34,24	2,00	0,95	
	ZG 3.37	//	72,90	51,57	29,66	3,50	0,58	
	ZG 3.38	//	84,54	53,40	33,63	4,00	0,63	
	ZG 3.39	//	72,89	51,19	27,90	0,00	0,55	
distância de 40 m do início da galeria direita, recolha das amostras aos 7,9m	ZG 3.40	//	103,92	34,75	41,61	7,00	1,20	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.41	//	78,82	39,21	41,28	6,00	1,05	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.42	//	84,94	50,77	34,07	9,00	0,67	
	ZG 3.43	//	90,14	45,21	28,00	7,00	0,62	
	ZG 3.44	//	105,90	47,94	32,55	1,50	0,68	
	ZG 3.45	//	100,87	30,01	35,46	8,00	1,18	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 3.46	//	93,62	53,56	36,74	4,00	0,69	
	ZG 3.47	//	97,00	41,40	42,54	7,00	1,03	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 3.48	//	88,39	36,13	34,40	7,00	0,95	
	ZG 3.49	//	88,14	35,27	30,19	6,00	0,86	
ZG4								
Filão de Quartzo	Q1		105,59	48,40	46,44	14,00	0,96	
	Q2		113,05	59,63	32,37	8,50	0,54	
	Q3		89,01	47,06	34,34	19,00	0,73	C/ Geode
	Q4		95,05	35,88	35,18	7,00	0,98	
	Q5		70,28	52,38	30,87	19,00	0,59	
	Q6		65,82	52,57	28,82	16,00	0,55	
Distância 60,50 m no hasteal direito	ZG 4.1	↓	70,81	39,45	36,47	5,00	0,92	
	ZG 4.2	↓	85,06	50,79	37,24	10,50	0,73	
	ZG 4.3	↓	77,76	52,02	34,20	2,00	0,66	
	ZG 4.4	↓	66,22	63,15	33,77	3,00	0,53	
	ZG 4.5	↓	87,94	68,80	34,20	2,00	0,50	
	ZG 4.6	↓	80,77	63,91	48,78	6,00	0,76	
	ZG 4.7	↓	71,11	67,38	36,14	9,00	0,54	
	ZG 4.8	↓	64,41	59,62	56,62	15,00	0,95	
	ZG 4.9	↓	74,46	64,20	47,90	9,00	0,75	
	ZG 4.10	↓	75,49	53,74	46,62	7,00	0,87	
	ZG 4.11	↓	120,12	47,40	64,28	9,00	1,36	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.16	↓	120,12	47,40	64,28	9,00	1,36	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.17	↓	98,85	55,96	59,03	5,05	1,05	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.18	↓	92,36	50,28	67,42	9,00	1,34	D/W > 1 valor muito superior a 1
	ZG 4.19	↓	121,36	61,94	48,04	9,50	0,78	
	ZG 4.20	↓	105,50	54,00	43,60	11,00	0,81	
	ZG 4.21	↓	114,20	77,55	45,56	21,00	0,59	
	ZG 4.22	↓	132,35	63,61	28,54	4,80	0,45	
	ZG 4.23	↓	130,01	59,69	32,32	4,85	0,54	
	ZG 4.24	↓	104,72	58,03	29,51	4,35	0,51	
	ZG 4.25	↓	81,98	81,83	29,89	11,00	0,37	
	ZG 4.26	↓	91,01	82,18	32,71	8,50	0,40	
	ZG 4.27	↓	132,39	85,96	43,69	15,00	0,51	
	ZG 4.28	↓	109,46	65,33	57,62	12,00	0,88	
	ZG 4.29	↓	96,75	56,86	59,64	10,00	1,05	D/W pouco > 1 pode vir a ser utilizado
	ZG 4.30	↓	105,16	64,17	32,36	5,30	0,50	
	ZG 4.31	↓	99,61	67,84	30,22	11,50	0,45	
	ZG 4.32	↓	81,92	47,50	39,39	9,00	0,83	

ZG4									
	1	↓	112,86	49,22	42,27	17,00	0,86		
	2	↓	101,39	87,98	61,09	17,00	0,69		
	3	↓	85,84	67,20	35,29	14,00	0,53		
	4	↓	103,05	82,87	65,22	16,50	0,79		
	5	↓	91,00	86,70	57,94	18,00	0,67		
	6	↓	121,11	52,61	54,20	17,00	1,03	D/W pouco > 1	pode vir a ser utilizado
	7	↓	100,16	66,00	45,60	18,00	0,69		
	8	↓	111,28	46,97	44,22	12,00	0,94		
	9	↓	111,18	39,45	62,40	18,00	1,58	D/W > 1	valor muito superior a 1
	10	↓	74,13	62,52	61,50	17,00	0,98		
	11	↓	84,05	60,50	51,21	18,00	0,85		
	12	↓	140,00	56,95	48,49	18,00	0,85		
	13	↓	147,73	54,38	44,54	18,00	0,82		
	14	↓	144,04	44,74	50,33	18,00	1,12	D/W > 1	valor muito superior a 1
	15	↓	120,63	75,58	62,84	18,00	0,83		
	16	↓	155,17	54,66	47,45	17,00	0,87		
	17	↓	101,04	57,82	54,85	19,00	0,95		
	18	↓	102,83	89,54	55,55	18,00	0,62		
	19	↓	65,41	59,30	48,86	19,00	0,82		
	20	↓	106,23	42,71	66,69	11,00	1,56	D/W > 1	valor muito superior a 1
	21	↓	105,14	64,05	52,36	17,00	0,82		
	22	↓	111,28	66,60	51,66	10,00	0,78		
	23	↓	147,51	60,35	48,58	10,00	0,80		
	24	↓	70,64	59,15	45,40	1,90	0,77		
	25	↓	104,30	59,53	38,22	15,00	0,64		
Distância 75 m no hasteal esquerdo	26	//	86,73	36,33	43,87	4,00	1,21	D/W > 1	valor muito superior a 1
	27	//	85,97	42,62	54,40	5,00	1,28	D/W > 1	valor muito superior a 1
	28	//	135,45	30,36	37,83	10,00	1,25	D/W > 1	valor muito superior a 1
	29	//	133,52	43,06	34,49	4,00	0,80		

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG1 hasteal direito.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG1 hasteal direito											
Litologia:		Xisto argiloso alterado a muito alterado (W4-5)											
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS (MPa)	Média Is(50)⊥ (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG1.1	8,55	⊥	127,00	92,15	84,08	84,08	0,15	0,02	1,26	0,03	0,06		
ZG1.2	8,55	⊥	84,49	65,48	46,84	46,84	0,00	0,00	0,97	0,00			
ZG1.3	8,80	⊥	90,41	77,52	54,90	54,90	0,05	0,02	1,04	0,02			
ZG1.4	8,80	⊥	64,11	56,59	42,56	42,56	0,70	0,39	0,93	0,36			
ZG1.5	8,80	⊥	85,85	79,28	56,23	56,23	0,03	0,01	1,05	0,01			
ZG1.6	8,80	⊥	101,14	61,26	64,16	64,16	0,00	0,00	1,12	0,00			
ZG1.7	8,80	⊥	119,23	105,99	50,13	50,13	0,00	0,00	1,00	0,00			
ZG1.8	8,80	⊥	104,99	95,74	81,41	81,41	0,05	0,01	1,25	0,01			
ZG1.11	8,80	⊥	118,90	100,23	104,49	104,49	0,30	0,03	1,39	0,04			
ZG1.10	8,80	⊥	99,60	85,04	90,03	90,03	0,10	0,01	1,30	0,02			
ZG1.11	8,80	⊥	105,19	73,99	71,41	71,41	0,10	0,02	1,17	0,02			
<div>Nota explicativa:<div>amostra nº - número de ensaios</div>Orientação<div>- perpendicular à xistossidade (⊥) ou paralelo à xistossidade (//)</div>De<div>- diâmetro equivalente da amostra (mm)</div>P<div>- carga de rotura (kN)</div>F<div>- factor de correcção obtido</div>Is<div>- índice de resistência à carga pontual</div>Is (50)<div>- valor corrigido</div>Ia (50)<div>- índice de anisotropia</div><div>Fórmulas:<div><div>$Is = \frac{P}{De^2}$</div><div>$Is_{(50)} = F \times Is$</div><div>$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$</div><div>$F = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45} = \sqrt[0,45]{\frac{De}{50}}$</div></div></div></div> <div>Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (0,04) e o valor mais baixo (0,01).</div>													

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG2 hasteal direito.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG2 hasteal direito											
Litologia:		Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, pouco alterados (W1-2)											
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) \perp (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG 2.1	18,55 / 19,10	\perp	113,32	69,90	47,27	47,27	12,00	5,37	0,98	5,24	3,20		
ZG 2.2	18,55 / 19,10	\perp	97,15	84,74	50,58	50,58	12,00	4,69	1,01	4,71			
ZG 2.3	18,55 / 19,10	\perp	91,64	52,54	34,60	34,60	5,00	4,18	0,85	3,54			
ZG 2.4	18,55 / 19,10	\perp	91,87	49,02	32,35	32,35	1,50	1,43	0,82	1,18			
ZG 2.5	18,55 / 19,10	\perp	126,87	51,47	35,60	35,60	10,00	7,89	0,86	6,77			
ZG 2.7	18,55 / 19,10	\perp	85,98	41,49	35,77	35,77	3,00	2,34	0,86	2,02			
ZG 2.8	18,55 / 19,10	\perp	86,15	45,05	38,23	38,23	3,00	2,05	0,89	1,82			
ZG 2.9	18,55 / 19,10	\perp	132,33	36,69	33,53	33,53	5,00	4,45	0,84	3,72			
ZG 2.10	18,55 / 19,10	\perp	117,23	51,04	32,98	32,98	2,00	1,84	0,83	1,52			
ZG 2.12	18,55 / 19,10	\perp	138,64	51,77	43,12	43,12	4,00	2,15	0,94	2,01			
ZG 2.13	18,55 / 19,10	\perp	145,30	52,94	34,29	34,29	8,00	6,80	0,84	5,74			
ZG 2.14	18,55 / 19,10	\perp	109,66	54,83	35,36	35,36	6,00	4,80	0,86	4,11	2,63		
ZG 2.16	19,85	\perp	88,62	71,89	63,64	63,64	5,35	1,32	1,11	1,47			
ZG 2.18	19,85	\perp	108,20	111,00	64,45	9,00	0,58	7,17	0,46	3,31			
ZG 2.17	19,85	\perp	97,96	73,90	48,58	48,58	2,60	1,10	0,99	1,09			
ZG 2.19	19,85	\perp	84,86	77,56	65,78	65,78	17,00	3,93	1,13	4,44			
ZG 2.22	19,10	//	90,14	57,50	35,91	35,91	0,80	0,62	0,86	0,53			
ZG 2.23	19,10	//	78,81	70,89	47,48	47,48	4,00	1,77	0,98	1,73			
ZG 2.24	19,10	//	105,02	58,98	41,60	41,60	4,00	2,31	0,92	2,13			
ZG 2.25	19,10	//	77,10	55,37	54,42	54,42	4,00	1,35	1,04	1,40			
ZG 2.26	19,10	//	100,04	56,01	52,40	52,40	0,80	0,29	1,02	0,30			
ZG 2.27	19,10	//	70,04	52,18	37,09	37,09	2,40	1,74	0,87	1,53			
ZG 2.28	19,10	//	101,97	44,41	38,08	38,08	2,00	1,38	0,88	1,22			
ZG 2.29	19,10	//	94,97	54,85	35,58	35,58	6,00	4,74	0,86	4,07			
ZG 2.30	19,10	//	92,65	39,24	34,14	34,14	5,00	4,29	0,84	3,61			
ZG 2.31	19,10	//	75,76	61,15	36,98	36,98	7,00	5,12	0,87	4,47			
ZG 2.32	19,10	//	118,60	48,85	31,65	31,65	12,00	11,98	0,81	9,75			
ZG 2.33	19,10	//	66,45	54,59	34,18	34,18	7,00	5,99	0,84	5,05			
ZG 2.34	19,10	//	57,07	48,78	37,30	37,30	5,00	3,59	0,88	3,15			
Nota explicativa:													
amostra nº		- número de ensaios											
Orientação		- perpendicular à xistossidade (\perp) ou paralelo à xistossidade (//)											
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)											
P		- carga de rotura (kN)											
F		- factor de correcção obtido											
Is		- índice de resistência à carga pontual											
Is (50)		- valor corrigido											
Ia (50)		- índice de anisotropia											
Fórmulas:													
$Is = \frac{P}{De^2}$													
$Is_{(50)} = F \times Is$													
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$													
$F = \left(\frac{De^{0,45}}{50} \right) = \sqrt{\frac{De}{50}}$													
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (6,77; 1,11; 9,75; //) e o valor mais baixo (9,75; 0,30; //)													

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG3 hasteal direito.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG3 hasteal direito											
Litologia:		Grauvaque e corneana metapelítica quartzosa medianamente alterada (W3)											
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) (MPa) ⊥	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG 3.1	30,50	⊥	100,76	69,95	33,53	33,53	11,00	9,78	0,84	8,17	1,24	8,37	
ZG 3.2	30,50	⊥	68,83	63,83	38,34	38,34	5,00	3,40	0,89	3,02			
ZG 3.3	30,50	⊥	130,58	67,18	35,84	35,84	13,00	10,12	0,86	8,71			
ZG 3.4	30,50	⊥	80,20	59,3	49,41	49,41	11,00	4,51	0,99	4,48			
ZG 3.5	30,50	⊥	91,60	82,15	66,11	66,11	0,55	0,13	1,13	0,14			
ZG 3.7	30,50	⊥	104,61	58,72	63,50	63,50	0,00	0,00	1,11	0,00			
ZG 3.8	30,50	⊥	73,76	53,63	46,95	46,95	0,10	0,05	0,97	0,04			
ZG 3.9	30,50	⊥	78,67	80,07	54,08	54,08	0,25	0,09	1,04	0,09			
ZG 3.10	30,50	⊥	102,13	89,57	51,09	51,09	0,10	0,04	1,01	0,04			
ZG 3.12	30,50	⊥	86,74	74,04	68,17	68,17	0,10	0,02	1,15	0,02			
ZG 3.13	30,50	⊥	74,23	50,94	41,96	41,96	0,00	0,00	0,92	0,00			
ZG 3.14	30,50	⊥	71,71	46,31	38,18	38,18	0,05	0,03	0,89	0,03			
ZG 3.15	30,50	⊥	77,46	49,40	42,64	42,64	0,00	0,00	0,93	0,00			
ZG 3.16	30,50	⊥	97,31	62,14	62,07	62,07	0,03	0,01	1,10	0,01			
ZG 3.17	30,50	⊥	95,54	63,44	53,15	53,15	0,30	0,11	1,03	0,11			
ZG 3.18	30,50	⊥	141,88	75,57	50,47	50,47	1,10	0,43	1,00	0,43			
ZG 3.19	30,50	⊥	126,54	66,83	45,13	45,13	4,10	2,01	0,95	1,92			
ZG 3.20	30,50	⊥	142,79	79,40	41,31	41,31	0,20	0,12	0,92	0,11			
ZG 3.21	30,50	⊥	110,64	60,46	49,41	49,41	0,20	0,08	0,99	0,08			
ZG 3.22	30,50	⊥	135,11	60,80	49,87	49,87	2,90	1,17	1,00	1,16			
ZG 3.23	30,50	⊥	144,76	56,33	50,14	50,14	0,10	0,04	1,00	0,04			
ZG 3.43	31,40	//	51,93	46,27	42,15	42,15	0,50	0,28	0,93	0,26	0,15		
ZG 3.44	31,40	//	65,88	48,08	37,58	37,58	0,15	0,11	0,88	0,09			
ZG 3.47	31,40	//	51,22	50,14	44,33	44,33	0,20	0,10	0,95	0,10			
ZG 3.48	31,40	//	53,11	47,15	40,25	40,25	0,15	0,09	0,91	0,08			
ZG 3.49	31,40	//	72,00	61,97	53,47	53,47	0,25	0,09	1,03	0,09			
ZG 3.50	31,40	//	69,40	60,66	43,00	43,00	0,75	0,41	0,93	0,38			
ZG 3.51	31,40	//	60,23	59,65	38,60	38,60	0,10	0,07	0,89	0,06			
Nota explicativa:													
amostra nº - número de ensaios													
Orientação - perpendicular à xistosidade (⊥) ou paralelo à xistosidade (//)													
De - diâmetro equivalente da amostra (mm)													
P - carga de rotura (kN)													
F - factor de correcção obtido													
Is - índice de resistência à carga pontual													
Is (50) - valor corrigido													
Ia (50) - índice de anisotropia													
Fórmulas:													
$Is = \frac{P}{De^2}$													
$Is_{(50)} = F \times Is$													
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$													
$F = \left(\frac{De^{0,45}}{50} \right) \approx \sqrt{\frac{De}{50}}$													
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (8,17;), (0,26; /1 e o valor mais baixo (0,01;), (0,06; /). ⊥													

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG3 hasteal direito aos 40m.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG3 à distância de 40 m do início da galeria direita, recolha das amostras aos 7,9m											
Litologia:													
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50)⊥ (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG 3.66	7,90	//	84,94	50,77	34,07	34,07	9,00	0,01	0,84	0,01	0,01		
ZG 3.67	7,90	//	90,14	45,21	28,00	28,00	7,00	0,01	0,77	0,01			
ZG 3.68	7,90	//	105,90	47,94	32,55	32,55	1,50	0,00	0,82	0,00			
ZG 3.70	7,90	//	93,62	53,56	36,74	36,74	4,00	0,00	0,87	0,00			
ZG 3.72	7,90	//	88,39	36,13	34,40	34,40	7,00	0,01	0,85	0,00			
ZG 3.73	7,90	//	88,14	35,27	30,19	30,19	6,00	0,01	0,80	0,01			
Nota explicativa:								Fórmulas:					
amostra nº		- número de ensaios						$Is = \frac{P}{De^2}$					
Orientação		- perpendicular à xistosidade(⊥) ou para _Lo à xistosidade (//)						$Is_{(50)} = F \times Is$					
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)						$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$					
P		- carga de rotura (kN)						$F = \left(\frac{De^{0,45}}{50} \right) = \sqrt{\frac{De}{50}}$					
F		- factor de correcção obtido											
Is		- índice de resistência à carga pontual											
Is (50)		- valor corrigido											
Ia (50)		- índice de anisotropia											

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Azeleiras, Tibães) – ZG3 hasteal esquerdo.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Azeleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG3 hasteal esquerdo											
Litologia:		Grauvaque e corneana metapelítica quartzosa medianamente alterada (W3)											
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) ⊥ (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG 3.24	33,50	⊥	177,24	67,32	24,20	24,20	1,20	2,05	0,72	1,48	0,28	2,26	
ZG 3.25	33,50	⊥	107,09	58,01	55,39	55,39	0,10	0,03	1,05	0,03			
ZG 3.26	33,50	⊥	122,77	56,63	55,86	55,86	0,30	0,10	1,05	0,10			
ZG 3.27	33,50	⊥	113,75	88,29	48,50	48,50	0,30	0,13	0,99	0,13			
ZG 3.28	33,50	⊥	106,18	85,59	56,38	56,38	2,70	0,85	1,06	0,90			
ZG 3.29	33,50	⊥	74,71	56,66	40,20	40,20	0,70	0,43	0,91	0,39			
ZG 3.30	33,50	⊥	64,94	49,84	43,44	43,44	0,50	0,26	0,94	0,25			
ZG 3.31	33,50	⊥	80,92	55,56	40,82	40,82	0,50	0,30	0,91	0,27			
ZG 3.32	33,50	⊥	71,69	63,92	47,24	47,24	0,90	0,40	0,97	0,39			
ZG 3.33	33,50	⊥	58,92	52,59	39,33	39,33	0,30	0,19	0,90	0,17			
ZG 3.34	33,50	⊥	60,73	59,47	41,96	41,96	0,05	0,03	0,92	0,03			
ZG 3.35	33,50	⊥	64,94	51,68	40,67	40,67	0,35	0,21	0,91	0,19			
ZG 3.37	33,50	⊥	73,26	57,79	38,89	38,89	0,10	0,07	0,89	0,06			
ZG 3.38	33,50	⊥	67,85	61,27	45,11	45,11	1,50	0,74	0,95	0,70			
ZG 3.39	33,50	⊥	54,86	56,54	41,53	41,53	0,40	0,23	0,92	0,21			
ZG 3.40	33,50	⊥	65,42	53,48	44,38	44,38	0,30	0,15	0,95	0,14			
ZG 3.41	33,50	⊥	67,52	45,97	39,62	39,62	0,50	0,32	0,90	0,29			
ZG 3.43	31,40	/	51,93	46,27	42,15	42,15	0,50	0,28	0,93	0,26	0,12		
ZG 3.44	31,40	/	65,88	48,08	37,58	37,58	0,15	0,11	0,88	0,09			
ZG 3.47	31,40	/	51,22	50,14	44,33	44,33	0,20	0,10	0,95	0,10			
ZG 3.48	31,40	/	53,11	47,15	40,25	40,25	0,15	0,09	0,91	0,08			
ZG 3.49	31,40	/	72,00	61,97	53,47	53,47	0,25	0,09	1,03	0,09			
ZG 3.50	31,40	/	69,40	60,66	43,00	43,00	0,75	0,41	0,93	0,38			
ZG 3.51	31,40	/	60,23	59,65	38,60	38,60	0,10	0,07	0,89	0,06			
ZG 3.60	36,00	/	102,36	47,67	40,77	40,77	0,00	0,00	0,91	0,00			
Nota explicativa:													
amostra nº - número de ensaios													
Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)ou paralelo à xistosidade (/)													
De - diâmetro equivalente da amostra (mm)													
P - carga de rotura (kN)													
F - factor de correcção obtido													
Is - índice de resistência à carga pontual													
Is (50) - valor corrigido													
Ia (50) - índice de anisotropia													
Fórmulas:													
$Is = \frac{P}{De^2}$													
$Is_{(50)} = F \times Is$													
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$													
$F = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45} = \sqrt[5]{\frac{De}{50}}$													
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (1,48;), (0,38; //), o valor mais baixo (0,03;), (0,06; //). ⊥													

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG4 hasteal direito.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)															
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)													
Zonamento:		ZG4 hasteal direito													
Litologia:		Corneana metapelítica e quartzosa medianamente alterada (W3)													
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos													
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50, (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)		
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)										
ZG 4.1	60,50	⊥	70,81	39,45	36,47	36,47	5,00	3,76	0,87	3,26	4,79				
ZG 4.2	60,50	⊥	85,06	50,79	37,24	37,24	10,50	7,57	0,88	6,63					
ZG 4.3	60,50	⊥	77,76	52,02	34,20	34,20	2,00	1,71	0,84	1,44					
ZG 4.4	60,50	⊥	66,22	63,15	33,77	33,77	3,00	2,63	0,84	2,20					
ZG 4.5	60,50	⊥	87,94	68,80	34,20	34,20	2,00	1,71	0,84	1,44					
ZG 4.6	60,50	⊥	80,77	63,91	48,78	48,78	6,00	2,52	0,99	2,49					
ZG 4.7	60,50	⊥	71,11	67,38	36,14	36,14	9,00	6,89	0,86	5,95					
ZG 4.8	60,50	⊥	64,41	59,62	56,62	56,62	15,00	4,68	1,06	4,95					
ZG 4.9	60,50	⊥	74,46	64,20	47,90	47,90	9,00	3,92	0,98	3,85					
ZG 4.10	60,50	⊥	75,49	53,74	46,62	46,62	7,00	3,22	0,97	3,12					
ZG 4.14	60,50	⊥	121,36	61,94	48,04	48,04	9,50	4,12	0,98	4,04					
ZG 4.15	60,50	⊥	105,5	54,10	43,60	43,60	11,00	5,79	0,94	5,44					
ZG 4.16	60,50	⊥	114,2	77,55	45,56	45,56	21,00	10,12	0,96	9,70					
ZG 4.17	60,50	⊥	132,35	63,61	28,54	28,54	4,80	5,89	0,78	4,58					
ZG 4.18	60,50	⊥	130,01	59,69	32,32	32,32	4,85	4,64	0,82	3,82					
ZG 4.19	60,50	⊥	104,72	58,03	29,51	29,51	4,35	5,00	0,79	3,94					
ZG 4.20	60,90	⊥	81,98	81,83	29,89	29,89	11,00	12,31	0,79	9,77					
ZG 4.21	60,90	⊥	91,01	82,18	32,71	32,71	8,50	7,94	0,83	6,56					
ZG 4.22	60,90	⊥	132,96	85,96	43,69	43,69	15,00	7,86	0,94	7,40					
ZG 4.23	60,90	⊥	109,46	65,33	57,62	57,62	12,00	3,61	1,07	3,85					
ZG 4.24	60,90	⊥	96,75	56,86	59,64	59,64	10,00	2,81	1,08	3,04					
ZG 4.25	60,90	⊥	105,16	64,17	32,36	32,36	5,30	5,06	0,82	4,16					
ZG 4.26	60,90	⊥	99,61	67,84	30,22	30,22	11,50	12,59	0,80	10,04					
ZG 4.27	60,90	⊥	81,92	47,50	39,39	39,39	9,00	5,80	0,90	5,21					
ZG 4.44	62,00	/	106,32	43,69	36,71	36,71	15,00	11,13	0,87	9,69					
ZG 4.45	62,00	/	141,91	63,16	36,02	36,02	16,50	12,72	0,86	10,97					
Nota explicativa:								Fórmulas:							
amostra nº		- número de ensaios						$Is = \frac{P}{De^2}$							
Orientação		- duas direcções ortogonais						$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$							
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)						$Is_{(50)} = F \times Is$							
P		- carga de rotura (kN)													
F		- factor de correcção obtido													
Is		- índice de resistência à carga pontual													
Is (50)		- valor corrigido													
Ia (50)		- índice de anisotropia						$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} \approx \sqrt{\frac{De}{50}}$							
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (10,04;) e o 1.º mais baixo (1,44;). ⊥															

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Aveleiras, Tibães) – ZG4 hasteal esquerdo.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)													
Local:		Antiga Mina das Aveleiras (Mosteiro de Tibães)											
Zonamento:		ZG4 hasteal esquerdo											
Litologia:		Corneana metapelítica e quartzosa medianamente alterada (W3)											
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos											
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) ⊥ (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)								
ZG 4.29	63,20	⊥	80,21	58,91	40,24	40,24	10,00	6,18	0,91	5,60	5,35		
ZG 4.30	63,20	⊥	57,72	52,42	42,70	42,70	14,00	7,68	0,93	7,15			
ZG 4.34	63,20	⊥	100,80	46,02	45,82	45,82	2,00	0,95	0,96	0,92			
ZG 4.35	63,20	⊥	87,14	56,59	38,26	38,26	15,00	10,25	0,89	9,08			
ZG 4.36	63,20	⊥	88,73	48,06	32,89	32,89	10,00	9,24	0,83	7,66			
ZG 4.37	63,20	⊥	113,15	38,98	37,26	37,26	16,00	11,52	0,88	10,10			
ZG 4.38	63,20	⊥	80,57	48,99	46,08	46,08	6,00	2,83	0,96	2,72			
ZG 4.40	63,20	⊥	108,56	40,66	40,73	40,73	5,00	3,01	0,91	2,75			
ZG 4.41	63,20	⊥	83,58	44,54	42,14	42,14	6,00	3,38	0,93	3,13			
ZG 4.42	75,00	⊥	70,64	59,15	45,40	45,40	1,90	0,92	0,96	0,88			
ZG 4.43	75,00	⊥	104,30	59,53	38,22	38,22	15,00	10,27	0,89	9,10			
Nota explicativa:													
amostra nº		- número de ensaios											
Orientação		- duas direcções ortogonais											
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)											
P		- carga de rotura (kN)											
F		- factor de correcção obtido											
Is		- índice de resistência à carga pontual											
Is (50)		- valor corrigido											
Ia (50)		- índice de anisotropia											
Fórmulas:													
$Is = \frac{P}{De^2}$													
$Is_{(50)} = F \times Is$													
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$													
$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45} = \sqrt{\frac{De}{50}}$													
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (10,10;) e o 1.º mais baixo (0,88;). ⊥													

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Azeleiras, Tibães) – ZG4.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)																
Local:		Antiga Mina das Azeleiras (Mosteiro de Tibães)														
Zonamento:		ZG4														
Litologia:		Corneana metapelítica e quartzosa medianamente alterada (W3)														
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos														
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50) ⊥ (MPa)	Média Is (50) // (MPa)	Ia(50)			
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)											
1		⊥	112,86	49,22	42,27	42,27	17,00	9,51	0,93	8,82	6,45					
2		⊥	101,39	87,98	61,09	61,09	17,00	4,56	1,09	4,98						
3		⊥	85,84	67,20	35,29	35,29	14,00	11,24	0,85	9,61						
4		⊥	103,05	82,87	65,22	65,22	16,50	3,88	1,13	4,37						
5		⊥	91,00	86,70	57,94	57,94	18,00	5,36	1,07	5,73						
7		⊥	100,16	66,00	45,60	45,60	18,00	8,66	0,96	8,31						
8		⊥	111,28	46,97	44,22	44,22	12,00	6,14	0,95	5,81						
10		⊥	74,13	62,52	61,50	61,50	17,00	4,49	1,10	4,93						
11		⊥	84,05	60,50	51,21	51,21	18,00	6,86	1,01	6,94						
12		⊥	140,00	56,95	48,49	48,49	18,00	7,66	0,99	7,55						
13		⊥	147,73	54,38	44,54	44,54	18,00	9,07	0,95	8,61						
15		⊥	120,63	75,58	62,84	62,84	18,00	4,56	1,11	5,05						
16		⊥	155,17	54,66	47,45	47,45	17,00	7,55	0,98	7,37						
17		⊥	101,04	57,82	54,85	54,85	19,00	6,32	1,04	6,58						
18		⊥	102,83	89,54	55,55	55,55	18,00	5,83	1,05	6,12						
19		⊥	65,41	59,30	48,86	48,86	19,00	7,96	0,99	7,88						
21		⊥	105,14	64,05	52,36	52,36	17,00	6,20	1,02	6,33						
22		⊥	111,28	66,60	51,66	51,66	10,00	3,75	1,01	3,80						
23		⊥	147,51	60,35	48,58	48,58	10,00	4,24	0,99	4,18						
24		⊥	70,64	59,15	45,40	45,40	1,90	0,92	0,96	0,88						
25		⊥	104,30	59,53	38,22	38,22	15,00	10,27	0,89	9,10						
Nota explicativa:																
amostra nº		- número de ensaios														
Orientação		- duas direcções ortogonais														
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)														
P		- carga de rotura (kN)														
F		- factor de correcção obtido														
Is		- índice de resistência à carga pontual														
Is (50)		- valor corrigido														
Ia (50)		- índice de anisotropia														
Fórmulas:																
$Is = \frac{P}{De^2}$																
$Is_{(50)} = F \times Is$																
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$																
$F = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45} = \sqrt[5]{\frac{De}{50}}$																
Nota : O valor da carga pontual é obtido sem considerar o valor mais elevado (9,61;) e o valor ⊥ais baixo (0,88;).																
⊥																

Ficha de registo das medições de amostras submetidas ao Ensaio de Carga Pontual (Mina das Azeleiras, Tibães) – ZG4 Filão de Quartzo.

ISRM : Ensaio de Carga Pontual (POINT LOAD TEST)												
Local:		Antiga Mina das Azeleiras (Mosteiro de Tibães)										
Zonamento:		ZG4										
Litologia:		Filão de quartzo										
Técnica de ensaio:		Ensaio em blocos										
Amostra nº	Distância (m)	Orientação do ensaio	Dimensões			De (mm)	P (kN)	Is (MPa)	F	IS(50) (MPa)	Média Is(50)(MPa)	Ia(50)
			comp (mm)	largura (mm)	altura (mm)							
Q1			105,59	48,40	46,44	46,44	14,00	6,49	0,97	6,28	10,41	
Q2			113,05	59,63	32,37	32,37	8,50	8,11	0,82	6,67		
Q3			89,01	47,06	34,34	34,34	19,00	16,11	0,84	13,61		
Q4			95,05	35,88	35,18	35,18	7,00	5,66	0,85	4,83		
Q5			70,28	52,38	30,87	30,87	19,00	19,94	0,80	16,05		
Q6			65,82	52,57	28,82	28,82	16,00	19,26	0,78	15,03		
Nota explicativa:												
amostra nº		- número de ensaios										
Orientação		- duas direcções ortogonais										
De		- diâmetro equivalente da amostra (mm)										
P		- carga de rotura (kN)										
F		- factor de correcção obtido										
Is		- índice de resistência à carga pontual										
Is (50)		- valor corrigido										
Ia (50)		- índice de anisotropia										
Fórmulas:												
$Is = \frac{P}{De^2}$												
$Is_{(50)} = F \times Is$												
$Ia_{(50)} = \frac{Is_{(50)} \perp}{Is_{(50)} //}$												
$F = \left(\frac{De}{50} \right)^{0,45} \approx \sqrt{\frac{De}{50}}$												

Anexo III – Tratamento dos dados laboratoriais das amostras submetidas ao Ensaio de Resistência à Flexão sob Carga Centrada.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)																
Local: Mina das Aveleiras																
Zonamento: ZGI hasteal direito																
Litologia: Xisto alterado a muito alterado (W4-5)																
Tipo ensaio : ensaio de identificação																
Orientação do ensaio:Perpendicular à xistosidade																
Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rtf (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
7	11,20	135,38	44,21	49,68	100,00	5,73	7,9	5	9,1	3	0,3	2,1	2,2	4	2,46	4,8x10^-4
8	11,20	176,78	49,75	29,59	157,78	2,539	13,8					2,6				
9	11,20	180,10	60,12	42,13	154,36	3,591	7,8					2,1				
10	11,20	160,00	50,69	34,85	152,81	2,012	7,5					2,0				
11	11,20	156,62	41,76	57,61	154,53	2,410	4,0									
12	11,20	234,74	39,18	37,06	143,46	2,156	8,6					2,2				
Resistência Mecânica à Flexão: Σ							45,6					11,0				
Nota explicativa:																
amostra nº	- número de ensaios			Fórmulas:			Coeficiente de variação			valor médio			Desvio padrão logarítmico			
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)			<div>$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$</div>			<div>$v = \frac{s}{\chi}$</div>			<div>$\overline{\chi} = \frac{1}{n} \sum x_i$</div>			<div>$s \ln = \sqrt{\frac{\sum (\ln \chi^i - \overline{\chi \ln})^2}{n - 1}}$</div>			
L	- comprimen total do provete, em (mm)															
b	- largura do provete, em (mm)															
h	- espessura do provete, em (mm)															
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)			Desvio padrão			Média logarítmica			valor mínimo esperado						
F	- carga de rotura, em (kN)			<div>$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{n - 1}}$</div>			<div>$\overline{\chi \ln} = \frac{1}{n} \sum \ln \chi^i$</div>			<div>$E = e^{\overline{\chi \ln} - k_s * S \ln}$</div>						
Rtf	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)															
n	- número de valores medidos															
Valores medidos	- X1, X2,...,X1,...,Xn															
Números de valores medidos	n															
valor máximo	Max						Números de ensaios realizados : 21									
valor mínimo	Min						Números de ensaios inválidos : 15									
Factor quantil	ks															

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGI hasteal direito

Litologia: Xisto alterado a muito alterado (W4-5)

Tipo ensaio : ensaio de identificação

Orientação do ensaio:Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	R _{tf} (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(x _i)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
1	8,40	136,53	42,62	48,87	100,13	0,547	0,8	5	1,8	1,3	0,8		0,5	1,0	2,46	0,1
2	8,40	153,63	52,80	43,15	104,16	1,273	2,0					0,7				
3	8,40	151,80	65,50	32,26	97,43	0,699	1,5					0,4				
4	8,40	136,45	46,32	45,68	112,99	1,648	2,9					1,1				
5	8,40	107,62	62,44	41,62	90,00	1,03	1,3					0,3				
6	8,40	121,66	54,34	30,34	100,00	0,36	1,1					0,1				
Resistência Mecânica à Flexão : Σ							8,8					2,5				

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

R_{tf} - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x₁, x₂,...,x₁,...,x_n

Números de valores medidos n

valor máximo Max

valor mínimo Min

Factor quantil ks

Fórmulas:

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logarítmica

$$\bar{x}_{ln} = \frac{1}{n} \sum \ln x_i$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x} \ln - k_s * S \ln}$$

Desvio padrão logarítmico

$$s \ln = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x} \ln)^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados :

15

Números de ensaios inválidos :

9

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGII hasteal direito

Litologia: Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)

Tipo ensaio: ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rtf (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logaritmico	Ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
13	23,60	156,62	36,86	46,22	122,42	0,55	1,3	5	1,4	0,7	0,5	0,3	0,3	0,7	2,46	0,0
14	23,60	132,96	27,61	61,77	106,20	1,000	1,5					0,4				
15	23,60	131,36	27,59	53,18	115,36	0,508	1,1					0,1				
16	23,60	171,48	51,20	52,95	138,00	0,34	0,5									
17	23,60	181,87	39,90	62,18	140,00	1,117	1,5					0,4				
18	23,60	150,38	37,18	40,29	124,00	0,514	1,6					0,5				
19	23,60	218,95	44,74	52,12	142,00	0,647	1,1									
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							7,0					1,6				

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade()

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

Rtf - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x1, x2,...,xi,...,xn

Números de valores medidos n

valor máximo **Max**

valor mínimo **Min**

Factor quantil ks

Fórmulas:

$$Rtf = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coefficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logaritmica

$$\bar{x}_{ln} = \frac{1}{n} \sum \ln xi$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum xi$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{ln} - ks * s_{ln}}$$

Desvio padrão logaritmico

$$s_{ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln xi - \bar{x}_{ln})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados : 13

Números de ensaios inválidos : 6

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIII B hasteal esquerdo

Litologia: Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)

Tipo ensaio: ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	R _{tf} (Mpa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(x _i)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logaritmico	K _s	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
20	25,50	222,82	47,49	41,11	143,38	2,543	10,6	5	11,8	3,4	0,3	2,4	2,4	4,9	2,46	6,41x10-5
21	25,50	213,30	63,33	33,80	141,44	2,653	11,7					2,5				
22	25,50	186,92	43,64	47,77	152,57	3,536	10,0					2,3				
23	25,50	234,69	20,90	56,78	145,00	3,363	17,6					2,9				
24	25,50	196,49	28,02	59,84	143,70	2,263	6,6									
25	25,50	156,62	40,07	45,27	152,01	1,160	3,3									
26	25,50	150,20	54,04	28,31	149,25	1,748	9,1									
27	25,50	156,60	40,46	47,49	146,60	0,557	1,4									
28	25,50	176,20	33,44	53,94	155,99	0,355	1,0									
29	25,50	110,94	60,90	29,93	90,00	0,50	1,5									
30	25,50	135,42	36,51	37,79	100,00	1,17	4,6									
31	25,50	143,86	30,63	56,22	146,50	0,958	2,1									
32	25,50	181,63	61,47	35,74	145,00	0,710	2,5									
33	25,50	135,14	62,82	32,76	147,81	0,415	1,2									
34	25,50	157,00	44,45	37,02	154,40	0,524	2,0									
35	25,50	126,95	66,37	34,74	110,00	2,13	5,1									
36	25,50	138,05	50,50	35,94	128,02	1,508	4,8									
37	25,50	139,85	33,13	59,58	129,58	1,983	3,5									
38	25,50	156,36	53,39	37,36	126,70	2,880	9,1					2,2				
39	25,50	156,03	52,91	26,51	130,85	1,127	7,1									
40	25,50	156,35	37,13	59,17	130,37	1,645	3,0									
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							58,9					12,2				

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

R_{tf} - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x₁, x₂,...,x_i,...,x_n

Números de valores medidos n

valor máximo **Max**

valor mínimo **Min**

Factor quantil k_s

Fórmulas:

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logaritmica

$$\bar{x}_{\ln} = \frac{1}{n} \sum \ln x_i$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{\ln} - k_s \cdot s_{\ln}}$$

Desvio padrão logaritmico

$$s_{\ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x}_{\ln})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados :

20

Números de ensaios inválidos :

0

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIII A à distância de 40 m do início da galeria direita, recolha das amostras aos 7,9m

Litologia: Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)

Tipo ensaio: ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rtf (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logaritmico	Ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
116	entrada galeria	154,13	51,55	38,90	85,00	0,50	0,8	3,0	0,5	0,9	2,0	-2,2	-1,8	2,5	3,15	6,28x10^-5
117	entrada galeria	154,02	52,16	39,44	85,00	0,25	0,4					-0,9				
118	entrada galeria	156,63	47,73	52,06	90,00	0,14	0,1					-2,3				
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							1,4					-5,4				

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade(l)

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

Rtf - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x1, x2,...,xi,...,xn

Números de valores medidos n

valor máximo Max

valor mínimo Min

Factor quantil ks

Fórmulas:

$$Rtf = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logaritmica

$$\bar{x}_{\ln} = \frac{1}{n} \sum \ln xi$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum xi$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{\ln} - ks * s_{\ln}}$$

Desvio padrão logaritmico

$$s_{\ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln xi - \bar{x}_{\ln})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados :

6

Números de ensaios inválidos :

3

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIII B hasteal esquerdo

Litologia: **Metagrauvaques** e corneana **metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)**

Tipo ensaio : ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rtf (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	Ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
56	28,10	188,04	48,93	44,40	143,00	3,141	7,0	5	9,8	-1,3	-0,1	2,2	2,5	5,0	2,46	5,54x10-5
57	28,10	192,27	41,57	40,85	143,70	3,363	10,4					2,6				
58	28,10	203,34	37,08	31,18	131,69	1,005	5,5									
59	28,10	177,45	44,85	38,49	130,86	2,117	6,3					2,1				
60	28,10	178,98	48,26	38,49	127,79	3,231	8,7					2,5				
61	28,10	153,48	42,45	45,97	126,66	2,381	5,0									
62	28,10	151,51	38,44	38,35	128,41	4,888	16,7					3,0				
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							49,0					12,4				

Nota explicativa:

- amostra nº - número de ensaios
- Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)
- L - comprimento total do provete, em (mm)
- b - largura do provete, em (mm)
- h - espessura do provete, em (mm)
- l - vão entre apoios de suporte, em (mm)
- F - carga de rotura, em (kN)
- Rtf - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)
- n - número de valores medidos
- Valores medidos - x1, x2,...,xi,...,xn

Fórmulas:

$$Rtf = \frac{3 Fl}{2 bh}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logaritmica

$$\bar{x}_{ln} = \frac{1}{n} \sum \ln xi$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum xi$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{ln} - ks * S_{ln}}$$

Desvio padrão logarítmico

$$s_{ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln xi - \bar{x}_{ln})^2}{n-1}}$$

neros de valores mec

n

valor máximo **Max**
valor mínimo **Min**
Factor quantil ks

Números de ensaios realizados : 10
Números de ensaios inválidos : 3

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIII B hastael esquerdo

Litologia: **Metagrauwaques** e corneana **metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)**

Tipo ensaio : ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	R _{tf} (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(xi)	Média logarítmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	K _s	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
63	29,25	156,60	47,00	39,10	129,83	1,080	2,9	5	4,1	2,0	0,5	1,1	0,7	1,6	2,46	0,04
64	29,25	160,00	53,25	38,51	134,25	0,618	1,6									
65	29,25	152,92	48,17	36,28	130,51	0,617	1,9									
66	29,25	155,50	42,28	28,92	130,37	0,926	5,1									
67	29,25	133,53	41,84	31,92	102,00	1,11	4,0									
68	29,25	124,64	38,50	56,37	102,00	1,00	1,3									
69	29,25	179,72	33,41	53,38	115,00	3,01	5,5									
70	29,25	194,78	64,62	66,05	146,60	1,224	3,2									
71	29,25	183,17	48,08	33,11	145,67	0,59	2,4									
72	29,25	161,00	40,65	33,30	105,00	0,63	2,2									
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							20,7				6,9					

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

R_{tf} - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x₁, x₂,...,x_i,...,x_n

Números de valores medidos n

valor máximo **Max**

valor mínimo **Min**

Factor quantil ks

Fórmulas:

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Desvio padrão

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logarítmica

$$\bar{x}_{\ln} = \frac{1}{n} \sum \ln x_i$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{\ln} - k_s \cdot s_{\ln}}$$

Desvio padrão logarítmico

$$s_{\ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x}_{\ln})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados : 10

Números de ensaios inválidos : 0

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIII A hasteal esquerdo

Litologia: Metagrauvaques e **corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)**

Tipo ensaio : ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	R _{tf} (Mpa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(x _i)	Média logaritmica (MPa)	Desvio padrão logaritmico	Ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
73	33,40	131,05	61,26	32,21	120,00	0,05	0,1	4	0,4	0,8	1,9	-2,3	-1,2	2,0	2,68	0,00141
74	33,40	160,00	54,94	26,04	100,00	0,16	0,6					-0,5				
75	33,40	175,63	40,24	39,88	100,00	0,14	0,3					-1,2				
76	33,40	118,19	61,83	35,58	100,00	0,24	0,5					-0,7				
Resistência Mecânica à Flexão Σ:							1,6					-4,7				

Nota explicativa:

amostra nº - número de ensaios

Orientação - perpendicular à xistosidade(⊥)

L - comprimento total do provete, em (mm)

b - largura do provete, em (mm)

h - espessura do provete, em (mm)

l - vão entre apoios de suporte, em (mm)

F - carga de rotura, em (kN)

R_{tf} - resistência à flexão, em Megapascal (MPa)

n - número de valores medidos

Valores medidos - x₁, x₂,...,x₁,...,x_n

Números de valores medidos n

valor máximo **Max**

valor mínimo **Min**

Factor quantil k_s

Fórmulas:

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Média logaritmica

$$\bar{x}_{\ln} = \frac{1}{n} \sum \ln x_i$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{\ln} - k_s * s_{\ln}}$$

Desvio padrão logaritmico

$$s_{\ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x}_{\ln})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados : 5

Números de ensaios inválidos : 1

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZGIV hasteal esquerdo

Litologia: Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada (W3)

Tipo ensaio: ensaio de identificação

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade																
Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	Rt _f (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(x _i)	Média logarítmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	ks	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
81	65,70	159,00	44,18	41,33	110,00	3,56	7,8	3	12	2,4	0,2	2,1	2,4	0,96	1,89	0,66
82	65,70	179,73	48,07	30,28	110,00	2,51	9,4					2,2				
83	65,70	184,63	40,07	35,76	144,00	4,122	17,4					2,9				
Resistência Mecânica à Flexão: Σ							34,6					7,2				

Nota explicativa:

amostra nº	- número de ensaios
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)
L	- comprimento total do provete, em (mm)
b	- largura do provete, em (mm)
h	- espessura do provete, em (mm)
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)
F	- carga de rotura, em (kN)
Rt _f	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)
n	- número de valores medidos
Valores medidos	- x ₁ , x ₂ ,...,x _i ,...,x _n

Números de valores medidos	n
valor máximo	Max
valor mínimo	Min
Factor quantil	ks

Fórmulas:

$$Rt_f = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Números de ensaios realizados : 35
Números de ensaios inválidos : 9

Coeficiente de variação

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$\bar{x}_{\ln} = \frac{1}{n} \sum_i \ln x_i$$

valor médio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

valor mínimo esperado

$$E = e^{\bar{x}_{\ln} - ks * s_{\ln}}$$

Desvio padrão logarítmico

$$s_{\ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x}_{\ln})^2}{n-1}}$$

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)																
Local: Mina das Aveleiras																
Zonamento: ZGIV hastael esquerdo																
Litologia: Corneana metapelítica e quartzosa, medianamente alterada (W3)																
Tipo ensaio: ensaio de identificação																
Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade																
Amostra nº	Distância (m)	Dimensões			l (mm)	F (kN)	R _{tf} (MPa)	n	Valor médio (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente variação	ln(x _i)	Média logarítmica (MPa)	Desvio padrão logarítmico	k _s	Valor mínimo esperado (MPa)
		(L) (mm)	b (mm)	h (mm)												
84	67,70	106,93	40,17	37,64	75,00	0,56	1,1	5	7	2,6	0,4	1,9	3,85	2,46	5,15x10^-4	
85	67,70	137,41	51,10	35,59	110,00	0,98	2,5									
86	67,70	198,85	34,66	35,97	144,80	1,214	5,9									
87	67,70	216,63	47,52	34,66	114,00	1,348	4,0									
88	67,70	210,63	40,58	28,91	144,26	1,452	9,3									
89	67,70	208,59	40,89	37,93	142,60	1,359	4,9									
90	67,70	203,52	39,15	31,17	140,90	0,987	5,5									
91	67,70	204,18	28,76	31,86	145,20	0,841	6,3									
92	67,70	194,14	52,56	33,31	146,40	0,905	3,4									
93	67,70	219,64	36,67	32,27	143,70	0,805	4,5									
94	67,70	235,64	60,52	42,80	146,00	0,789	1,6									
95	67,70	182,64	31,83	50,47	98,00	0,25	0,5									
96	67,70	176,64	57,49	38,45	110,00	0,87	1,7									
97	67,70	170,00	39,97	31,10	110,00	0,41	1,7									
98	67,70	150,15	33,59	40,41	100,00	0,17	0,5									
99	67,70	138,00	44,93	49,92	105,00	1,56	2,2									
100	67,70	158,56	39,21	32,70	105,00	2,02	7,6									
101	67,70	128,00	61,59	34,25	90,00	1,53	2,9									
102	67,70	124,67	42,62	46,63	90,00	0,34	0,5									
103	67,70	136,00	37,77	53,77	90,00	0,96	1,2									
104	67,70	114,28	47,05	41,59	90,00	0,66	1,1									
105	67,70	118,97	47,05	41,59	90,00	0,84	1,4									
106	67,70	104,68	51,83	24,67	75,00	0,54	1,9									
Resistência Mecânica à Flexão: Σ							34,5					9,6				
Nota explicativa:																
amostra nº	- número de ensaios					Fórmulas:		Coeficiente de variação		valor médio		Desvio padrão logarítmico				
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)					$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2}$		$v = \frac{s}{\bar{x}}$		$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$		$s_{ln} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x_i - \bar{x}_{ln})^2}{n-1}}$				
L	- comprimento total do provete, em (mm)															
b	- largura do provete, em (mm)															
h	- espessura do provete, em (mm)															
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)															
F	- carga de rotura, em (kN)															
R _{tf}	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)					$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$		Média logarítmica								
n	- número de valores medidos									valor mínimo esperado						
Valores medidos	- x ₁ , x ₂ ,...,x _i ,...,x _n															
Números de valores medidos	n							Números de ensaios realizados :		35						
valor máximo	Max							Números de ensaios inválidos :		9						
valor mínimo	Min															
Factor quantil	k _s															

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)										
<p>Local: Mina das Aveleiras</p> <p>Zonamento: ZG1 hasteal direito</p> <p>Litologia: Xisto alterado a muito alterado (W4-5)</p> <p>Tipo de ensaio: Ensaio de identificação</p> <p>Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade</p>										
Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			l (mm)	Verificação das Dimensões do Provete			Observações
			(L) (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	l=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
8,40	1	⊥	145,11	46,64	41,63	120,75	249,78	208,15	124,89	
	2	⊥	207,00	36,13	49,81	148,00	298,86	249,05	149,43	
	3	⊥	198,99	51,28	33,31	148,00	199,86	166,55	99,93	
	4	⊥	136,53	42,62	48,87	100,13	293,22	244,35	146,61	
	5	⊥	153,63	52,80	43,15	104,16	258,9	215,75	129,45	
	6	⊥	151,80	65,50	32,26	97,43	193,56	161,30	96,78	
	7	⊥	156,52	45,15	39,97	95,59	239,82	199,85	119,91	
	8	⊥	129,15	40,97	41,91	76,97	251,46	209,55	125,73	
	9	⊥	148,54	35,50	42,62	115,02	255,72	213,10	127,86	
	10	⊥	136,45	46,32	45,68	112,99	274,08	228,40	137,04	
	11	⊥	156,15	43,55	38,06	124,83	228,36	190,30	114,18	
	12	⊥	156,52	49,45	31,27	148,12	187,62	156,35	93,81	
	13	⊥	107,62	62,44	41,62	90,00	249,72	208,10	124,86	
	14	⊥	121,66	54,34	30,34	100,00	182,04	151,70	91,02	
	15	⊥	148,97	31,36	46,43	153,26	278,58	232,15	139,29	
11,20	16	⊥	135,38	44,21	49,68	100,00	298,08	248,40	149,04	
	17	⊥	176,78	49,75	29,59	157,78	177,54	147,95	88,77	
	18	⊥	180,10	60,12	42,13	154,36	252,78	210,65	126,39	
	19	⊥	160,00	50,69	34,85	152,81	209,1	174,25	104,55	
	20	⊥	156,62	41,76	57,61	154,53	345,66	288,05	172,83	
	21	⊥	234,74	39,18	37,06	143,46	222,36	185,30	111,18	
Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade () ⊥									
L	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
R _{tf}	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
ks	- factor quantil									

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)

Local: Mina das Aveleiras

Zonamento: ZG2 hasteal direito

Litologia: Xisto argiloso com alternância de quartzofilitos, são a pouco alterado (W1-2)

Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade

Tipo de ensaio: Ensaio de identificação

Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			I (mm)	Verificação das Dimensões do Provete			Observações
			(L) (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	I=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
23,60	22	⊥	158,62	37,33	43,14	127,60	258,84	215,70	129,42	
	23	⊥	147,39	42,81	42,30	122,30	253,8	211,50	126,90	
	24	⊥	157,61	41,01	46,29	122,00	277,74	231,45	138,87	
	25	⊥	162,00	35,96	50,34	122,24	302,04	251,70	151,02	
	26	⊥	156,62	36,86	46,22	122,42	277,32	231,10	138,66	
	27	⊥	132,96	27,61	61,77	106,20	370,62	308,85	185,31	
	28	⊥	131,36	27,59	53,18	115,36	319,08	265,90	159,54	
	29	⊥	171,48	51,20	52,95	138,00	317,7	264,75	158,85	
	30	⊥	172,00	45,60	46,95	126,44	281,7	234,75	140,85	
	31	⊥	181,87	39,90	62,18	140,00	373,08	310,90	186,54	
	32	⊥	150,38	37,18	40,29	124,00	241,74	201,45	120,87	
	33	⊥	218,95	44,74	52,12	142,00	312,72	260,60	156,36	
	34	⊥	144,13	44,18	36,03	123,60	216,18	180,15	108,09	

Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)									
L	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
I	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
Rtf	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
ks	- factor quantil									

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)										
Local: Mina das Aveleiras										
Zonamento: ZG3 hastael esquerdo										
Litologia: Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)										
Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade										
Tipo de ensaio: Ensaio de identificação										
Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			l (mm)	Verificação das Dimensões do Provete			Observações
			(L) (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	l=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
25,50	35	⊥	222,82	47,49	41,11	143,38	246,66	205,55	123,33	
	36	⊥	213,30	63,33	33,80	141,44	202,8	169,00	101,40	
	37	⊥	186,92	43,64	47,77	152,57	286,62	238,85	143,31	
	38	⊥	234,69	20,90	56,78	145,00	340,68	283,90	170,34	
	39	⊥	196,49	28,02	59,84	143,70	359,04	299,20	179,52	
	40	⊥	156,62	40,07	45,27	152,01	271,62	226,35	135,81	
	41	⊥	150,20	54,04	28,31	149,25	169,86	141,55	84,93	
	42	⊥	156,60	40,46	47,49	146,60	284,94	237,45	142,47	
	43	⊥	176,20	33,44	53,94	155,99	323,64	269,70	161,82	
	44	⊥	110,94	60,90	29,93	90,00	179,58	149,65	89,79	
	45	⊥	135,42	36,51	37,79	100,00	226,74	188,95	113,37	
	46	⊥	143,86	30,63	56,22	146,50	337,32	281,10	168,66	
	47	⊥	181,63	61,47	35,74	145,00	214,44	178,70	107,22	
	48	⊥	135,14	62,82	32,76	147,81	196,56	163,80	98,28	
	49	⊥	157,00	44,45	37,02	154,40	222,12	185,10	111,06	
	50	⊥	126,95	66,37	34,74	110,00	208,44	173,70	104,22	
	51	⊥	138,05	50,50	35,94	128,02	215,64	179,70	107,82	
	52	⊥	139,85	33,13	59,58	129,58	357,48	297,90	178,74	
	53	⊥	156,36	53,39	37,36	126,70	224,16	186,80	112,08	
	54	⊥	156,03	52,91	26,51	130,85	159,06	132,55	79,53	
	55	⊥	156,35	37,13	59,17	130,37	355,02	295,85	177,51	
Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)									
L	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
R _{tf}	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
ks	- factor quantil									

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)										
Local: Mina das Aveleiras										
Zonamento: ZG1 hasteal direito										
Litologia: Metagrauvaques e corneana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)										
Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade										
Tipo de ensaio: Ensaio de identificação										
Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			l (mm)	Verificação das Dimensões do Provete			Observações
			(L) (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	l=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
28,10	56	⊥	188,04	48,93	44,40	143,00	266,4	222,00	133,20	
	57	⊥	192,27	41,57	40,85	143,70	245,1	204,25	122,55	
	58	⊥	203,34	37,08	31,18	131,69	187,08	155,90	93,54	
	59	⊥	177,45	44,85	38,49	130,86	230,94	192,45	115,47	
	60	⊥	178,98	48,26	38,49	127,79	230,94	192,45	115,47	
	61	⊥	153,48	42,45	45,97	126,66	275,82	229,85	137,91	
	62	⊥	142,47	49,16	36,10		216,6		108,30	
	63	⊥	151,51	38,44	38,35	128,41	230,1	191,75	115,05	
	64	⊥	130,34	45,98	47,57	95,00	285,42	237,85	142,71	
29,25	65	⊥	132,07	50,21	35,59	95,00	213,54	177,95	106,77	
	66	⊥	156,60	47,00	39,10	129,83	234,6	195,50	117,30	
	67	⊥	160,00	53,25	38,51	134,25	231,06	192,55	115,53	
	68	⊥	152,92	48,17	36,28	130,51	217,68	181,40	108,84	
	69	⊥	155,50	42,28	28,92	130,37	173,52	144,60	86,76	
	70	⊥	133,53	41,84	31,92	102,00	191,52	159,60	95,76	
	71	⊥	124,64	38,50	56,37	102,00	338,22	281,85	169,11	
	72	⊥	179,72	33,41	53,38	115,00	320,28	266,90	160,14	
	73	⊥	194,78	64,62	36,05	146,60	216,3	180,25	108,15	
33,40	74	⊥	183,17	48,08	33,11	145,67	198,66	165,55	99,33	
	75	⊥	161,00	40,65	33,30	105,00	199,8	166,50	99,90	
	76	⊥	131,05	61,26	32,21	120,00	193,26	161,05	96,63	
	77	⊥	160,00	54,94	26,04	100,00	156,24	130,20	78,12	
	78	⊥	151,52	47,05	58,73	90,00	352,38	293,65	176,19	
	79	⊥	175,63	40,24	39,88	100,00	239,28	199,40	119,64	
	80	⊥	118,19	61,83	35,58	100,00	213,48	177,90	106,74	
Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade(l)									
L	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
R _{tf}	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
ks	- factor quantil									

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)										
Local: Mina das Aveleiras										
Zonamento: Entrada da Galeria										
Litologia: Xisto alterado a muito alterado (W4-5)						Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade				
Tipo de ensaio: Ensaio de identificação										
Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			l (mm)	Verificação das Dimenões do Provete			Observações
			(L) (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	l=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
entrada galeria	116	⊥	154,13	51,55	38,90	85,00	233,4	194,50	116,70	
	117	⊥	154,02	52,16	39,44	85,00	236,64	197,20	118,32	
	118	⊥	155,42	57,65	44,42	90,00	266,52	222,10	133,26	
	119	⊥	156,63	47,73	52,06	90,00	312,36	260,30	156,18	
	120	⊥	137,35	50,64	40,10	90,00	240,6	200,50	120,30	
	121	⊥	128,00	40,08	44,50	90,00	267	222,50	133,50	

Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade(⊥)									
L	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
R _{tf}	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
k _s	- factor quantil									

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A FLEXÃO SOB CARGA CENTRADA EN 12372 (2006)										
Local: Mina das Aveléiras										
Zonamento: ZG4 hastael esquerdo										
Litologia: Metagrauvaques e comeana metapelítica quartzosa, medianamente alterada (W3)										
Orientação do ensaio: Perpendicular à xistosidade										
Tipo de ensaio: Ensaio de identificação										
Distância (m)	Amostra nº	Orientação	Dimensões			l (mm)	Verificação das Dimensões do Provete			Observações
			l (mm)	b (mm)	h (mm)		L= 6h	l=5h	50 mm ≤ b ≤ 3 h	
65,70	81	⊥	159,00	44,18	41,33	110,00	247,98	206,65	123,99	
	82	⊥	179,73	48,07	30,28	110,00	181,68	151,40	90,84	
	83	⊥	184,63	40,07	35,76	144,00	214,56	178,80	107,28	
	84	⊥	106,93	40,17	37,64	75,00	225,84	188,20	112,92	
67,70	85	⊥	137,41	51,10	35,59	110,00	213,54	177,95	106,77	
	86	⊥	198,85	34,66	35,97	144,80	215,82	179,85	107,91	
	87	⊥	216,63	47,52	34,66	114,00	207,96	173,30	103,98	
	88	⊥	210,63	40,58	28,91	144,26	173,46	144,55	86,73	
	89	⊥	208,59	40,89	37,93	142,60	227,58	189,65	113,79	
	90	⊥	203,52	39,15	31,17	140,90	187,02	155,85	93,51	
	91	⊥	204,18	28,76	31,86	145,20	191,16	159,30	95,58	
	92	⊥	194,14	52,56	33,31	146,40	199,86	166,55	99,93	
	93	⊥	219,64	36,67	32,27	143,70	193,62	161,35	96,81	
	94	⊥	235,64	60,52	42,80	146,00	256,8	214,00	128,40	
	95	⊥	182,64	31,83	50,47	98,00	302,82	252,35	151,41	
	96	⊥	196,64	33,15	38,87	105,00	233,22	194,35	116,61	
	97	⊥	176,64	57,49	38,45	110,00	230,7	192,25	115,35	
	98	⊥	170,00	39,97	31,10	110,00	186,6	155,50	93,30	
	99	⊥	159,00	50,41	31,87	110,00	191,22	159,35	95,61	
	100	⊥	150,15	33,59	40,41	100,00	242,46	202,05	121,23	
	101	⊥	160,00	36,56	37,00	100,00	222	185,00	111,00	
	102	⊥	145,86	64,62	40,16	110,00	240,96	200,80	120,48	
	103	⊥	138,51	51,68	41,43	110,00	248,58	207,15	124,29	
	104	⊥	138,00	44,93	49,92	105,00	299,52	249,60	149,76	
	105	⊥	151,29	47,05	40,78	110,00	244,68	203,90	122,34	
	106	⊥	149,00	35,60	49,38	108,00	296,28	246,90	148,14	
	107	⊥	158,56	39,21	32,70	105,00	196,2	163,50	98,10	
	108	⊥	155,15	37,10	38,24	90,00	229,44	191,20	114,72	
	109	⊥	128,00	61,59	34,25	90,00	205,5	171,25	102,75	
	110	⊥	124,67	42,62	46,63	90,00	279,78	233,15	139,89	
	111	⊥	136,00	37,77	53,77	90,00	322,62	268,85	161,31	
	112	⊥	114,28	47,05	41,59	90,00	249,54	207,95	124,77	
	113	⊥	118,97	47,05	41,59	90,00	249,54	207,95	124,77	
	114	⊥	126,14	44,88	43,44	90,00	260,64	217,20	130,32	
	115	⊥	104,68	51,83	24,67	75,00	148,02	123,35	74,01	
Nota explicativa:										
amostra nº	- número de ensaios									
Orientação	- perpendicular à xistosidade(l)									
l	- comprimento total do provete, em (mm)									
b	- largura do provete, em (mm)									
h	- espessura do provete, em (mm)									
l	- vão entre apoios de suporte, em (mm)									
F	- carga de rotura, em (kN)									
Rtf	- resistência à flexão, em Megapascal (MPa)									
n	- número de valores medidos									
ks	- factor quantil									